

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: N3108 Průmyslový management

Studijní obor: Management jakosti

VLASTNOSTI MEMBRÁNY POUŽÍVANÉ V HASIČSKÝCH ZÁSAHOVÝCH UNIFORMÁCH PO NÁSOBNÉM PRANÍ PROPERTIES OF MEMBRANES USED IN FIRE RESCUE UNIFORMS AFTER FOLD WASHING

Irena Janečková

KHT-035

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavla Vozková, Ph.D.

Rozsah práce:

Počet stran textu... 55

Počet obrázků..... 37

Počet tabulek..... 9

Počet stran příloh . 0

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte rešerši na téma vlastností membrán, srovnání hydrofilních a hydrofobních membrán, výhody a nevýhody jejich použití.
2. Měřte komfortní vlastnosti experimentálního materiálu neošetřeného praním a po násobném praní.
3. Zpracujte a zhodnoťte vlastnosti různých druhů membrán a jejich nosných materiálů bez ošetření praním.
4. Zpracujte a zhodnoťte výsledky měření s důrazem na změnu vlastností membrány po násobném praní a stanovte nejvhodnější druh nosného materiálu pro membránu v zásahových hasičských oblecích.

Seznam odborné literatury:

DVOŘÁK, Otto; ŠTEFKOVÁ, Erika; KOTINSKÝ, Petr. *Ochranné oděvy pro hasiče: vlastnosti, zkoušení, praktické používání a certifikace*. Praha: MV-generální ředitelství HZS ČR jako přílohu časopisu 150-HOŘÍ, 5/2002. 15 s.

HORROCKS, A. Richard; ANAND, Subhash. *Handbook of technical textiles*. Bolton, UK: CRC Press, Woodhead, 2000. 576 s. ISBN 1 85573 385 4.

RŮŽIČKOVÁ, Dagmar. *Oděvní materiály*. Vyd.1. Liberec: TU Liberec, 2003. 221 s. ISBN 80-7083682-2.

ČSN EN ISO 6330 (80 0821): *Textilie - Postupy domácího praní a sušení pro zkoušení textilií*. Praha: Český normalizační institut, 2001. 20 s.

Prohlášení

Byl (a) jsem seznámen (a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom (a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval (a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucí diplomové práce Ing. Pavle Vozkové, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení a čas, který mi věnovala při zpracování této práce. Dále děkuji rodině a přátelům za podporu, kterou mi poskytovali po celou dobu studia.

ANOTACE

Diplomová práce představuje výsledek zkoumání v oblasti hydrofobních mikroporézních a hydrofilních neporézních membrán. Je zaměřena na zjištění komfortních vlastností jak membrán, tak i jednotlivých vrstev samostatně. Dále se zabývá určením výparného odporu a paropropustnosti celého vícevrstvého systému v takovém uspořádání, v jakém bude v oděvu. Velký důraz je kladen na zjištění změn vlastností membrán po násobném praní. Následně je zhodnocena jejich vhodnost pro použití ve vícevrstvých systémech hasičských zásahových uniforem.

KLÍČOVÁ SLOVA:

mikroporézní membrány, hydrofilní membrány, zátěry, lamináty, výparný odpor, paropropustnost

ANNOTATION

The diploma thesis is the result of research into microporous hydrophobic and hydrophilic non-porous membranes. It is focused on finding comfort properties of membranes, and each layer separately. It also deals with determining the resistance of water vapour and water vapour permeability entire system in a multilayered structure in which they are in clothing. Particular emphasis is given to detect changes in properties of the membrane fold laundry. Subsequently an assessment of their suitability for use in multilayer systems fire rescue uniforms.

KEY WORDS:

microporous membranes, hydrophilic membranes, coatings, laminates, resistance of water vapour, water vapour permeability

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk.....	8
Seznam veličin.....	9
Úvod.....	10
1 TEORETICKÁ ČÁST	11
1.1 Nepromokavé a vodním parám propustné materiály	11
1.1.1 Způsoby dosažení nepromokavosti.....	13
1.2 Typy nepromokavých a propustných textilií	13
1.2.1 Hustě tkané tkaniny	14
1.2.2 Membrány	15
1.2.2.1 Hydrofobní mikroporézní membrány.....	15
1.2.2.2 Hydrofilní membrány	17
1.2.2.3 Způsoby spojení membrán s textilním nosičem	18
1.2.2.3.1 Membrána laminovaná na vrchovou tkaninu, nebo podšívku	19
1.2.2.3.2 Konstrukce volně vložené vrstvy (Z-liner)	19
1.2.2.3.3 Laminování membrány na vrchový materiál a podšívku (třívrstvý laminát)	20
1.2.3 Zátěry	20
1.2.3.1 Mikroporézní zátěry	20
1.2.3.1.1 Mokrý koagulace	22
1.2.3.1.2 Tepelná koagulace.....	22
1.2.3.1.3 Pěnové zátěry	22
1.2.3.2 Hydrofilní zátěry	22
1.2.4 Kombinace mikroporézních a hydrofilních zátěrů a membrán	23
1.3 Srovnání hydrofilních a hydrofobních membrán a zátěrů	24
1.4 Materiály používané na ochranné oděvy	24
1.4.1 Druhy tepelně odolných vláken	24
2 experimentální část	28
2.1 Popis materiálů	28
2.1.1 Mikroskopické pohledy membrán	29

2.1.2	Mikroskopické pohledy na vrchní materiál a podšívku.....	32
2.1.3	Snímky z rastrovacího elektronového mikroskopu	33
2.2	Subjektivní zhodnocení vzhledu	34
2.3	Měření na přístroji PERMETEST.....	36
2.3.1	Měření výparného odporu.....	37
2.3.2	Měření relativní paropropustnosti.....	37
2.4	Vyhodnocení výsledků měření samostatných membrán	38
2.5	Vyhodnocení výsledků měření vrstev.....	43
2.6	Výsledky měření vrchního materiálu a podšívky	47
	Diskuze	49
	Závěr	53
	Literatura.....	54

Seznam použitých symbolů a zkratk

atd.	a tak dále
C-P	uhlíkový prekurzor
HDPE	vysokohustotní polyetylen
IS	interval spolehlivosti
LOI	limitní kyslíkové číslo
např.	například
obr.	obrázek
PBI	polybenzimidazol
PBO	polyfenylenbenzobisoxazol
PI	polyarimid
PL	polyester
PP	polypropylen
PS	polyfenylénsulfid
PTFE	polytetrafluoretylen
PU	polyuretan
PVA	polyvinylalkohol
tab.	tabulka
v. s.	vodní sloupec

Seznam veličin

zkratka	název	jednotka
A	plocha	[m ²]
f	frekvence	[Hz]
H	teplota vzduchu ve zkušebním prostoru	[°C]
ΔH_e	korekce pro výhřevnost	[°C]
l	délka	[m]
m	hmotnost	[kg]
P	příkon	[W]
p	relativní paropropustnost	[%]
p_a	parciální tlak	[Pa]
p_m	nasycený parciální tlak	[Pa]
q_o	tepelný tok nezakryté plochy	[W/m ²]
q_v	tepelný tok zakryté plochy	[W/m ²]
R_{ct}	tepelný odpor	[m ² K/W]
R_{et}	výparný odpor	[m ² Pa/W]
T_a	teplota vzduchu	[°C]
T_m	teplota měřicí jednotky	[°C]
U	napětí	[V]
v	rychlost	[m/s]
W	práce	[J]
φ	relativní vlhkost	[%]

Úvod

Po tisíce let je oblečení používáno jako ochrana před nepříznivým počasím. Prvními materiály používanými pro tento účel byly kožešiny, ale tkaniny jsou také užívány po velmi dlouhou dobu. Již dříve se lidé chtěli chránit před deštěm a větrem, proto pro dosažení nepromokavosti v minulosti používali živočišný tuk, ztuhlý rostlinný olej, vosk, který nanášeli na textilie. V současnosti se používají syntetické materiály a přípravky.

Aby se člověk cítil pohodlně v jakémkoliv počasí i při pracovním výkonu, jsou v současnosti k dispozici funkční materiály. K funkčním vlastnostem těchto materiálů nepochybně patří nepromokavost a propustnost vodních par. V dnešní době je na trhu velké množství funkčních oděvů od různých výrobců lišící se v kvalitě i ceně. Funkční materiály se používají nejen ve sportovních oděvech, ale i u výrobků např. u stanů, potahů, obalů. Nepromokavých a zároveň propustných materiálů se využívá i u ochranných oděvů, kde plní funkci vlhkostní bariéry.

Diplomová práce je rozdělena do dvou částí. Protože je diplomová práce zaměřena na vlastnosti membrány používané v hasičských zásahových oblecích, jsou v první části uvedeny druhy nepromokavých a propustných materiálů a rozdíly mezi nimi. Dále jsou představeny druhy tepelně odolných vláken, které jsou používány do ochranných obleků.

Druhá část je koncipována jako experiment. Je zde proveden rozbor a popis materiálů, u kterých se zjišťovala vhodnost použití do hasičských zásahových obleků. Vhodnost použití se stanovovala na základě měření komfortních vlastností na přístroji PERMETEST. Zjišťoval se vliv praní na tyto komfortní vlastnosti. V samotném závěru jsou diskutovány výsledky měření.

1 TEORETICKÁ ČÁST

Textilie, u kterých se používá kombinace několika funkčních vlastností, se nazývají multifunkční. Požaduje se od nich vysoká ochrana před nepříznivými vnějšími vlivy při současném komfortu nošení. Multifunkční textilie mají mít ochranný bariérový efekt. Tyto oděvy jsou používány v různých oblastech: sport, pracovní oblečení/prostředí, vojenství.

Funkční vlastnosti, jako jsou např. termoizolační vlastnosti, odolnost proti pronikání větru, pevnost v protržení a oděru, nemačkovost a splývavost, jsou kombinovány s vlastnostmi označovanými jako waterproof/breathable, tj. s výrobky, které jsou nepromokavé a zároveň dovolují pronikání vodních par z vnitřní strany oděvu [1].

1.1 Nepromokavé a vodním parám propustné materiály

Nepromokavé a zároveň prodyšné materiály jsou navrženy pro použití u oděvů, jejichž účelem je zajistit ochranu před nepříznivým počasím a zabránit ztrátě tělesného tepla. Zajišťují hydrofobitu z vnější strany textilie a vysokou propustnost vodních par z vnitřní strany. Nepromokavé materiály, na rozdíl od vodoodpudivých, zamezují prostupu a vstřebávání vody. Vodoodpudivé materiály jenom zpomalují pronikání vody. Prodyšnost znamená, že materiálem je aktivně prochází vzduch. Schopnost textilie k povolení pronikání vodní páry je obvykle uváděna pod pojem *prodyšnost*. Správné označení je ale propustnost vodní páry. Jednotkou je, stejně jako u intenzity pocení, g/24 hod a g/m²24 hod [1, 2].

Důležitým faktorem komfortu oděvů je schopnost přenosu vodních par přes textilii. Lidské tělo se snaží udržovat vnitřní teplotu okolo 37 °C. Pro pocit pohodlí musí být zajištěna rovnováha mezi teplem a pocením vyprodukovaným organismem a odevzdaným do okolí. Člověk se cítí pohodlně, jestliže se jeho teplota pohybuje okolo 35 °C a není na pokožce vlhkost. Důležité je, aby oděv nositeli zajišťoval ochranu před chladem, větrem a dokázal ho udržet v suchu. Jestliže toto splňuje, je komfortní [3].

Při fyzické aktivitě se tělo ochlazuje prostřednictvím pocení. Jestliže vodní pára nemůže uniknout do okolního prostředí, relativní vlhkost mikroklimatu uvnitř oděvu zvyšuje působení odpovídající rostoucí tepelné vodivosti izolujícího vzduchu a oděv se

tak stává nepohodlným. V extrémním případě může nastat jev hypotermie, což je stav podchlazení, kdy tělo ztrácí teplo rychleji, než je schopné vytvořit. V tabulce 1 jsou uvedeny příklady činností i s jejich produkovány tepelnými energiemi. Pro udržení stálé tělesné teploty musí oděv odvádět vodní páru z pocení v rychlosti nižší, než jsou u aktivit uvedených v tab. 1 [2, 3].

Tab. 1: Tepelné energie vyprodukované různými činnostmi, odpovídající intenzitě pocení [2, 3]

Činnosti	Práce [J]	Intenzita pocení [g/24hod]
Spánek	60	2280
Sezení	100	3800
Mírná chůze	200	7600
Svižná chůze	300	11500
Činnost s malou zátěží	400	15200
Činnost s velkou zátěží	500	19000
Vysokohorská turistika	600-800	22800-30400
Maximální práce	1000-1200	38000-45600

Maximální pracovní zátěž se dá vydržet po mnohem kratší dobu, než jak je uvedeno v tab. 1. Během klidu je největší přebytek tepla odváděn vedením a sáláním, zatímco během fyzické aktivity je rozhodující způsob odvodu přebytku tělesného tepla odpařováním (evaporace) potu. Délka času, kdy je tělo schopné vykonávat obtížnou práci, se lineárně snižuje s poklesem schopnosti propouštět vodní páru textilií. Začleněním vlhkostní bariéry do oděvní soustavy lze dosáhnout až o 60% vyšší výkon, než u stejného oděvu bez vlhkostní bariéry [2].

Podle vedených statistik úmrtí hasičů v USA do roku 1982 bylo 2,6% úmrtí hasičů způsobené vlastní vinou, zatímco 46,1% bylo výsledkem infarktu, který je vyvolaný tepelným stresem. V případě, že jsou hasiči v blízkosti ohně, mohou ztratit až 4 litry (4000g) tekutin za hodinu [2].

Propustné a zároveň nepromokavé tkaniny deklarují schopnost přenosu více než 5000g/m^2 vodní páry za den. V roce 1998 bylo běžné vidět požadavky na 10000g/m^2 za den [2].

Tedy propustné nepromokavé textilie předcházejí průniku vody z vnějšího prostředí do vnitřního prostředí oděvu, navíc ještě dovolují penetraci (pronikání) vodní páry z vnitřku oděvu do vnějšího prostředí. Propustné a zároveň nepromokavé materiály se uplatňují v různých oblastech. Ve sportovních oděvech to jsou větrovky, kalhoty, rukavice, sportovní obuv, v turistice se využívají na stany, spací pytle, v pracovním oblečení např. pro specializované jednotky jako jsou speciální vojenské ochranné oblečení, oblečení na operační sály [2].

1.1.1 Způsoby dosažení nepromokavosti

Získat nepromokavost lze následujícími postupy [1]:

- Water-repellent: jedná se o povrchovou úpravu impregnací, kalandrováním nebo napouštěním na vnější stranu materiálu, při kratším dešti se udělají kapičky, které sklouznou; při větší zátěži už voda proteče (cca 0,5 m v. s.). Používají se DWR (durable water repellency) přípravky na bázi silikonu, fluorkarbonu, parafínové emulze k hydrofobní úpravě. Jedná se o to, že dočasnou úpravu, praním a nošením se impregnace ztrácí. Ovšem existují i takové DWR přípravky např. u perfluorkarbony, kdy po každém praní a žehlení při 180°C je impregnace obnovena.
- Water-resistant: používají se pro vrstvené a zátěrové materiály. Zátěry jsou na bázi PU, fluorkarbonu, teflonu, akrylu. Takto upravené materiály jsou voděvzdorné, vydrží tlak vodního sloupce cca 1,1 m.
- Water-proof: jedná se o vodotěsné a vysoce nepromokavé materiály odolávající tlaku vodního sloupce nad 1,3 m.

Pro dosažení kompletní nepromokavosti oděvu je nutné zajistit švy páskou, aby v nich nedocházelo k pronikání vody. [1]

1.2 Typy nepromokavých a propustných textilií

Rozlišují se tři způsoby získávání tkanin s vlastnostmi jako jsou nepromokavost a zároveň propustnost pro vodní páru [2]:

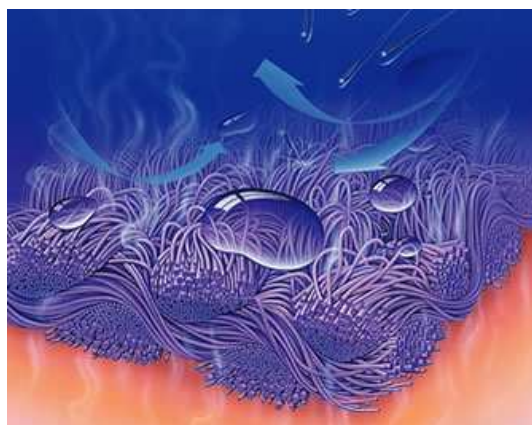
- Hustě tkané tkaniny
- Membrány (lamináty)
- Zátěry

- Kombinace mikroporézních zátěrů a membrán

1.2.1 Hustě tkané tkaniny

Hustě tkané tkaniny jsou vyráběny ze syntetických mikrovláknenných přízí. Průměr jednotlivých vláken je menší než $10\mu\text{m}$. Mikrovláknena jsou obvykle vyrobena z polyamidu nebo polyesteru. Vhodný je zejména polyester, protože má základní water-repellent vlastnosti. Schéma hustě tkané tkaniny je na obr. 1. Odolnost vůči pronikání vody je vylepšena použitím silikonové nebo fluorouhlíkové finální úpravy [2].

V porovnání s běžnými tkaninami má použití velmi jemných vláken v přízích a poté z nich husté dostavy za následek tkaniny s velmi malými velikostmi pórů ve vazbě. Typická velikost póru pro nepromokavé tkaniny je okolo $10\mu\text{m}$ v porovnání s $60\mu\text{m}$ pro běžné tkaniny. Ventile tkanina má velikost póru okolo $10\mu\text{m}$ za sucha a $3-4\mu\text{m}$ za mokra. Tkaniny vyrobené z mikrovláken zaručují počet 7000 mikrovláken/cm. Vojenská varianta tkaniny Ventile má okolo 6000 vláken/cm [2].



Obr. 1 Schéma tkaniny s velmi hustou dostavou [9]

První efektivní nepromokavá a zároveň vodním parám propustná tkanina Ventile byla vyvinuta pro vojenské účely roku 1940. Pro zajištění malých pórů pro pronikání vody jsou při předení bavlněná staplová vlákna pokládána rovnoběžně k ose příze. Z příze je tkána tkanina Oxford v husté dostavě. Počet nití v osnově na 1cm je 98 nití. Po namočení povrchu tkaniny vodou vlákna botnají příčně a tím zmenší velikost pórů v tkanině a zvýší tlak potřebný k penetraci. Tkanina tak poskytuje nepromokavost bez potřeby water-repellent úpravy. V současnosti se uplatňuje i na běžném trhu, kde se používá s nižší dostavou osnovy, ale kvůli tomu se pro dosažení nepromokavosti musí provést water-repellent úprava [2].

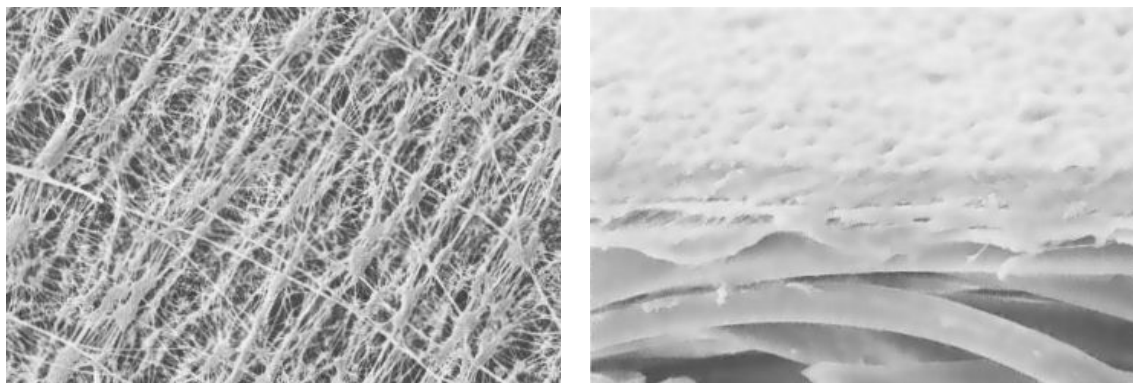
1.2.2 Membrány

Membrány jsou neobyčejně tenké filmy vyrobené z polymerních materiálů a zkonstruované takovým způsobem, že mají vysokou odolnost proti pronikání vody a zároveň dovolují průchodu vodní páry. Typická membrána je okolo 10 μm silná a z toho důvodu je nalamínována na vhodný textilní materiál. Nanesením membrány na vhodný povrch textilního materiálu je docíleno nových vlastností textilního materiálu. Existují dva typy membrán: hydrofobní mikroporézní a hydrofilní neporézní. Liší se v mechanismu propustnosti vodní páry [2, 4].

Hlavní využití membrán je v oblasti sportovních oděvů, kde se výrobci mohou uplatnit s prodyšnými a nepromokavými oděvy. Jednoduchou soustavou membrán je možné získat výrobek s vysokou výměnou vodních par, s odstraněním potu na rozhraní oděvu spolu s extrémním odpuzováním vody [5].

1.2.2.1 Hydrofobní mikroporézní membrány

Hydrofobní mikroporézní membrány se vyrábějí z rozpínavého PTFE. Jedná se o tenký film, který obsahuje 1,4 miliard pórů/ cm^2 . Jednotlivý pór je 700 větší než molekula vodní páry a zároveň 20 000krát menší než kapka vody. Samotný pór má velikost 2-3 μm . Tím je zajištěna vysoká propustnost vodních par a nepromokavost výrobku. PTFE membrány jsou vyráběny protlačováním přes štěrbinu. Následným natahováním ve dvou směrech dochází k tvorbě mikropórů. Natahování se provádí při vysokých rychlostech a pod teplotou tání. Tento postup výroby PTFE se používá při výrobě membrány GORE-TEX firmou W. L. Gore & Assoc.s Inc. Na obrázku 2 a) je vidět vzhled membrány GORE-TEX, na obrázku 2 b) je membrána v příčném řezu [2, 4, 5, 6].



Obr. 2 Povrch membrány GORE-TEX a) a příčný řez membránou GORE-TEX b) [7].

Dalším způsobem získání mikroporézní membrány různých polymerů je perforování neprodyšné membrány použitím elektronového mikropaprsku. Elektronový paprsek vytváří póry skrz membránu [4, 6].

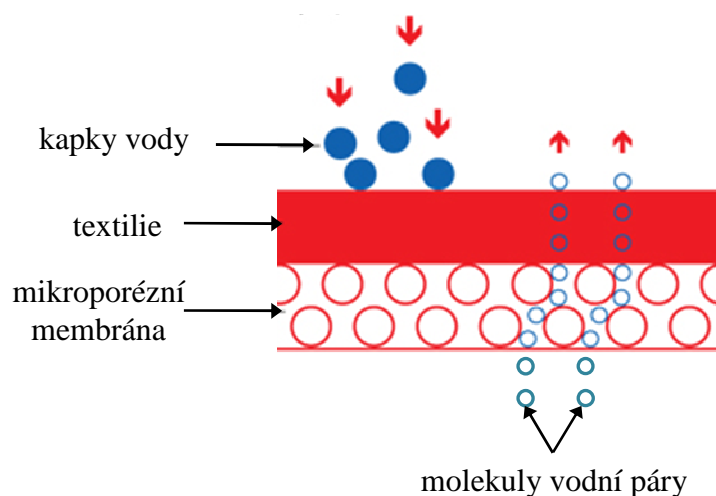
Jiným způsobem výroby, který je uplatňován většinou u PU/PAR, je proces koagulace. Póry vzniknou v důsledku odpaření rozpouštědla. Příkladem takto získané membrány je membrána Porelle britské firmy Porvair [3, 4].

U hydrofobních mikroporézních membrán mechanismus prostupu vodních par závisí na porézní struktuře materiálu.

Typy pórů [4]:

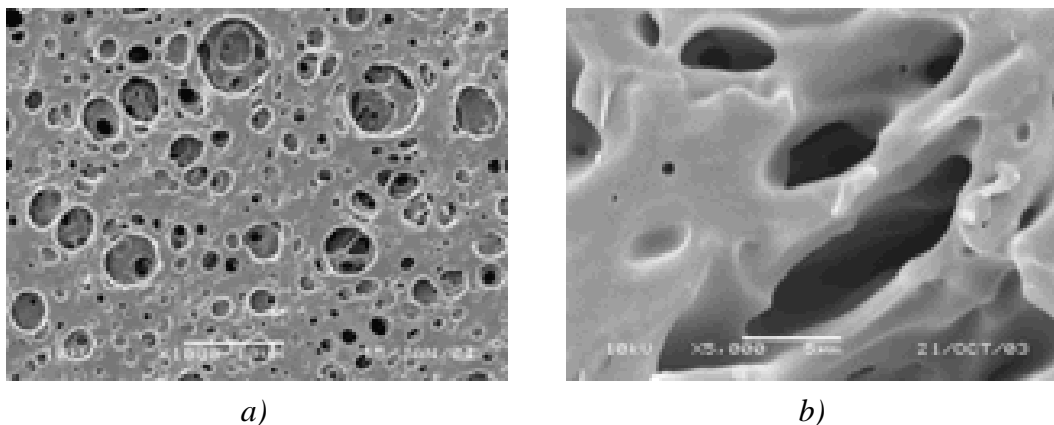
- otevřený typ – mechanismus rozšiřování je zanedbatelný, protože vodní pára proniká přes póry
- polootevřený, polozavřený typ – mechanismus rozšiřování je značný, molekuly vody musí proniknout do tenké vrstvy, která odděluje jednotlivé mikropóry.

Schéma prostupu vodních par přes hydrofobní mikroporézní membránu je znázorněno na obr. 3.



Obr. 3 Schéma prostupu vodních par hydrofobní membránou [8].

Na obr. 4 a) je zobrazen vzhled povrchu mikroporézní PU membrány. Je vidět rovnoměrné rozložení pórů na povrchu membrány. Průřez mikroporézní PU membránou ukazuje, že tvar pórů je variabilní, jejich délka a uspořádání je vícesměrové (obr. 4 b). To naznačuje, že uspořádání pórů uvnitř membrány vytváří komplikovanou síť mikrokapiál [4].

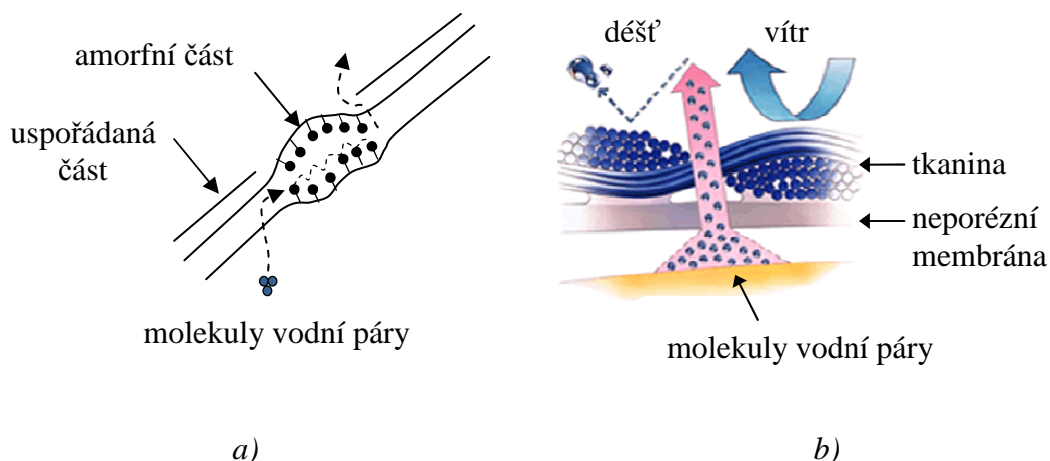


Obr. 4 Povrch mikroporézní PU membrány a) a průřez mikroporézní PU membránou b) [4].

V průběhu používání mikroporézní membrány může docházet ke znečištění a zanášení pórů prostřednictvím olejů, repelentů proti hmyzu a jinými nečistotami. To má za následek snižování voděodolnosti a propustnosti vodní páry. Proto se na mikroporézní membránu pro snížení účinků znečištění aplikuje hydrofobní DWR přípravek [5].

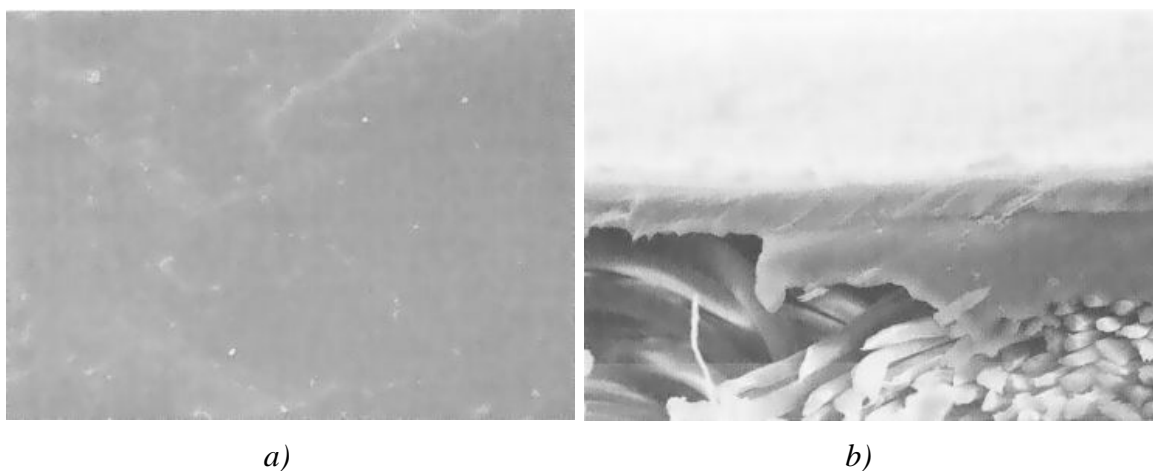
1.2.2.2 Hydrofilní membrány

Hydrofilní membrány jsou velmi tenké filmy vyrobené z chemicky modifikovaného polyesteru nebo polyuretanu. PL nebo PU jsou modifikovány polyetylenoxidem. Tyto filmy neobsahují žádné póry, proto jsou označovány jako neporézní. Mají pevnou, kompaktní strukturu. Poskytují přenos poměrně velkého množství vodní páry na základě molekulárního mechanismu (absorpce – difúze – desorpce). Amorfnní oblasti polymeru jsou součástí hydrofilní části membrány. Na obr. 5 a) jsou popsány amorfnní části jako činnosti mezimolekulárních „pórů“ dovolující molekulám vodní páry prostoupit, ale zabraňují pronikání kapek vody, obr. 5 b) znázorňuje schéma prostupu vodní páry neporézní PU membránou [2, 3].



Obr. 5 Amorfnní oblast a), schéma prostupu vodní páry neporézní membránou b) [2, 9].

Hydrofilní neporézní membrány zahrnují známé PL materiály Sympatex vyrobené firmou Sympatex Composites Co., stejně jako PU výrobky BION II od Toyo Cloth. Na obr. 6 a) je povrch membrány Sympatex, obr. 6 b) znázorňuje příčný řez, [3, 4].



Obr. 6 Povrch membrány Sympatex a) a membrána Sympatex v příčném řezu b) [7].

1.2.2.3 Způsoby spojení membrán s textilním nosičem

Hlavním důvodem nanášení membrán na textilní materiály je jejich obtížné samostatné zpracování. Laminováním na textilní materiály nesmí dojít ke zhoršení klasických textilních vlastností a zároveň musí být dosaženo zlepšení funkčních

činností. Způsob laminování je závislý na ceně, funkčních požadavcích a postupu výroby [2].

Způsoby laminování [1, 2]:

- Spojení membrány s textilním materiálem prostřednictvím bodového nánosu pasty a šablonou na kalandru
- Spojování membrány s textilním materiálem s použitím PU lepidla střední viskozity mezi dvěma válci
- Ultrazvukem
- Kašírováním

Konstrukční provedení membrán [1]:

- Membrána laminovaná na vrchový materiál, nebo podšívku (dvouvrstvý laminát)
- Konstrukce volně vložené vrstvy (Z-liner)
- Laminování membrány na vrchový materiál a podšívku (třívrstvý laminát)

1.2.2.3.1 Membrána laminovaná na vrchovou tkaninu, nebo podšívku

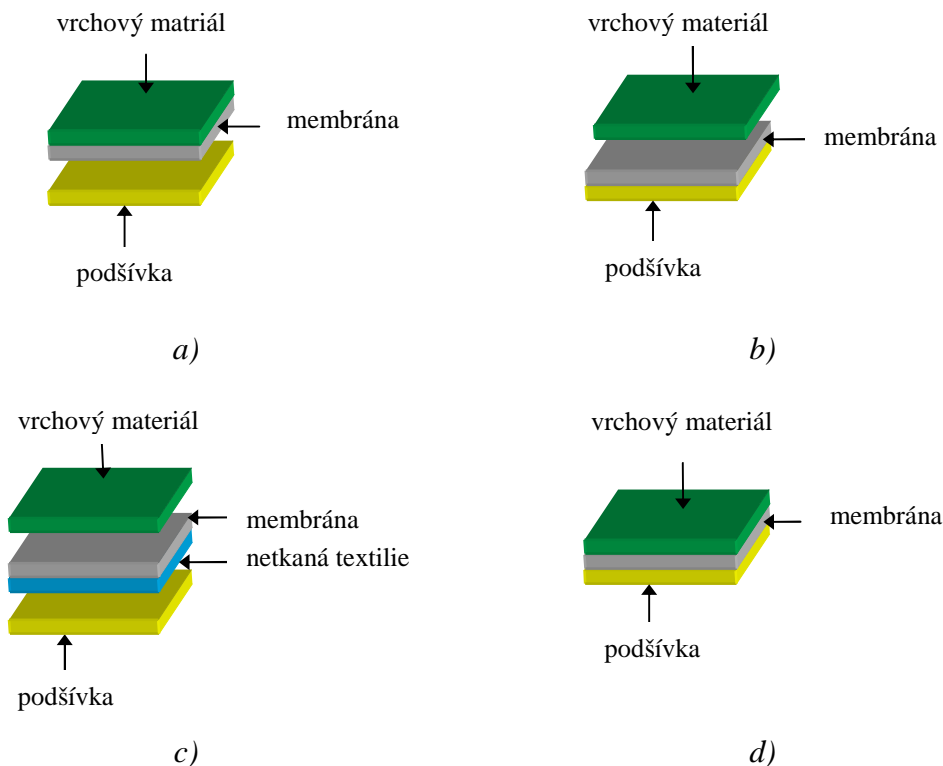
Na obr. 7 a) je membrána přichycena na rubní stranu vrchového materiálu laminováním, nebo na obr. 7 b) je připevněna na lící stranu podšívky. Jako nezávislá vrstva se v prvním případě používá podšívky, ve druhém vrchový materiál. Tím se vytvoří dvouvrstvý systém. Nezávislá vrstva má za úkol chránit membránu před poškozením. Používá se k výrobě ochranného a sportovního oblečení [1, 2].

1.2.2.3.2 Konstrukce volně vložené vrstvy (Z-liner)

Obr. 7 c) znázorňuje laminování membrány na lehký textilní materiál, jako je pletenina nebo netkaná textilie. Toto uspořádání je pak volně vloženo mezi vrchní materiál a podšívku. Výhodou této metody je měkký omak a dobrá splývavost. Používá se na oděvy s městským charakterem, není vhodný pro použití v extrémních klimatických podmínkách [1, 2].

1.2.2.3.3 Laminování membrány na vrchový materiál a podšívku (třívrstvý laminát)

Obr. 7 d) ukazuje spojení vrchového materiálu, membrány a podšívky v jeden kompaktní. Příkladem jsou softshelly [1, 2].



Obr. 7 Dvouvrstvý laminát a), b), Z – liner c), třívrstvý laminát d) [2].

1.2.3 Zátěry

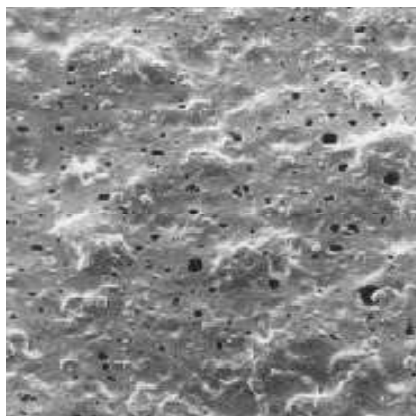
Tento způsob spočívá v tom, že vrstva polymerního materiálu je nanášena na povrch textilního materiálu. Jako zátěrový materiál se používá PU. Stejně jako u membrán, i zde se zátěry rozdělují do dvou skupin: na mikroporézní a hydrofilní. Oproti membránám jsou zátěry silnější [2].

1.2.3.1 Mikroporézní zátěry

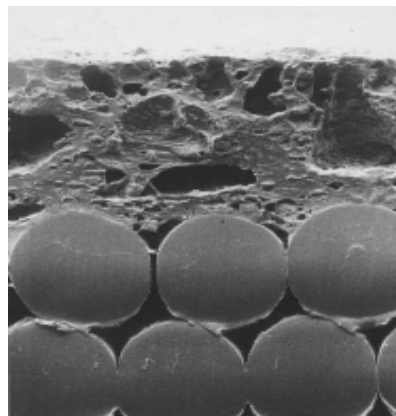
Mikroporézní zátěry mají podobnou strukturu jako mikroporézní membrány. Zátěry obsahují kanálky mnohem menší, než je nejmenší dešťová kapka, ale mnohem větší než je molekula vodní páry. Povrch mikroporézního PU zátěru je vyobrazen na obr. 8 a), 8 b) znázorňuje příčný řez PU zátěrem. Schéma prostupu vodních par zátěrem je uvedeno na obr. 9 [2].

Způsoby výroby zátěrů [2]:

- Mokrý koagulace
- Tepelná koagulace
- Pěnové zátěry

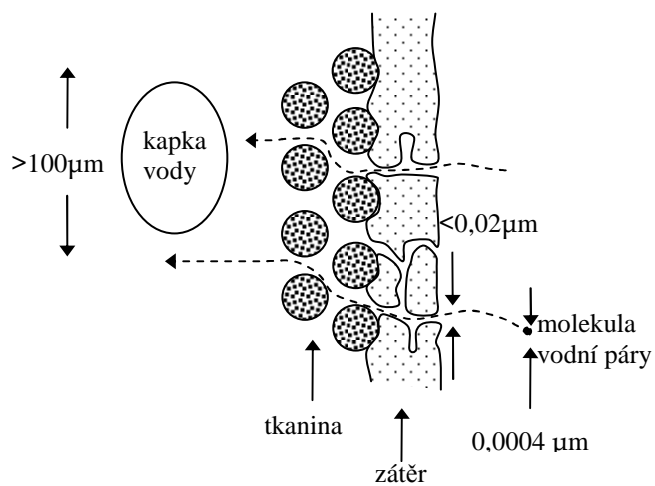


a)



b)

Obr. 8 Povrch mikroporézního PU zátěru a), příčný řez PU zátěrem b) [10].



Obr. 9 Schéma prostupu par mikroporézním zátěrem [2].

1.2.3.1.1 Mokrý koagulace

Povrch textilní materiálu je opatřen roztokem PU v organickém rozpouštědle. Tento roztok není rozpustný ve vodě. Poté prochází klimatizační komorou obsahující vodní páru, po smísení organického rozpouštědla s vodní párou dochází ke koagulaci PU. Pro úplné odstranění rozpouštědla je textilie prána, skrz póry v zátěru rozpouštědlo uniká. Nakonec dochází k sušení. Tato metoda není moc používána vzhledem k ceně vstupního kapitálu na nákup zařízení [2].

1.2.3.1.2 Tepelná koagulace

K výrobě zátěrové emulze se používá rozpuštěný PU v organickém rozpouštědle smíchaný s vodou. Tato zátěrová pasta se natírá na jednu stranu textilie. Následně tkanina prochází dvoufázovým sušicím procesem. První fáze pracuje s nižší teplotou k odstranění organického rozpouštědla ze srážejícího se PU. Zátěr je nyní směsí složenou z pevného PU a vody. Druhá fáze používá vyšší teploty k odstranění vody, ta opouští zátěr přes póry [2].

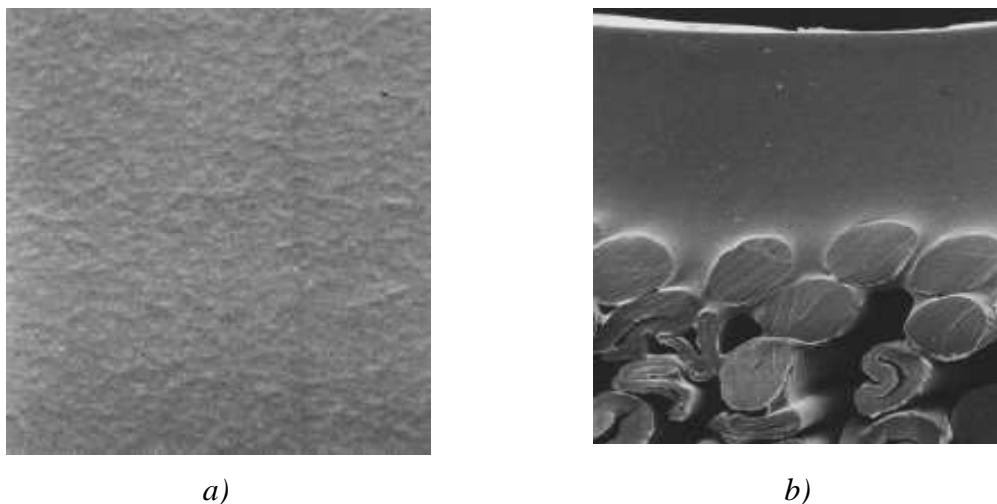
1.2.3.1.3 Pěnové zátěry

Používají se emulze akrylu a PU, které jsou nanášeny na povrch textilního materiálu. Textilie se zátěrem je následně sušena do podoby mikroporézního zátěru. Důležité je zajistit přiměřenou velikost otvorů v pěně. Musí být dostatečně velké k pronikání vodní páry a dostatečně malé k průniku vody. Ke zlepšení vlastností je používána finální water-repellent úprava. Tento typ zátěru je oproti zátěrům s organickými rozpouštědly šetrný k životnímu prostředí [2].

1.2.3.2 Hydrofilní zátěry

Hydrofilní zátěry fungují na stejném principu propustnosti vodní páry jako hydrofilní neporézní membrány. Pracují na principu absorpce, difuze a desorpce. Zátěry jsou založeny na PU modifikovaném polyoxidem, nebo PVA. Zátěry z těchto polymerů mají afinitu pro vodní páru, dovolují pronikání vodní páry skrz amorfní oblasti polymeru. Musí být zajištěna rovnováha mezi hydrofilními a hydrofobními složkami polymerního systému, aby poskytovala propustnost pro vodní páru, pružnost, stálost a nerozpustnost ve vodě a v chemickém čištění. PU zátěry mají vynikající celistvost. Na

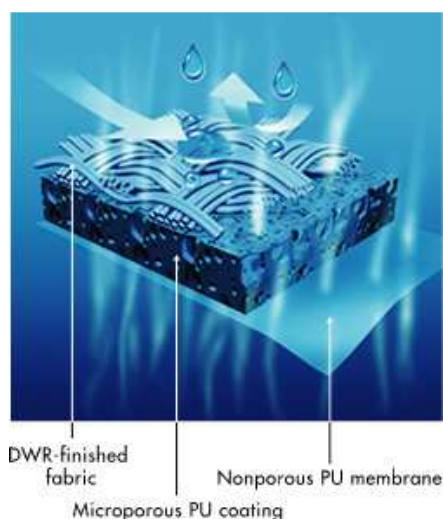
obr. 10 a) je povrch PU hydrofilního zátěru, obr. 10 b) znázorňuje PU zátěr v příčném řezu [2, 10].



Obr. 10 Povrch hydrofilním PU zátěrem a), příčný řez hydrofilního PU zátěru b) [10].

1.2.4 Kombinace mikroporézních a hydrofilních zátěrů a membrán

Pro dosažení nepromokavosti a propustnosti pro vodní páry se též používá kombinace mikroporézních a hydrofilních zátěrů a membrán. Účelem je zvýšení nepromokavosti a voděodolnosti. Výhodou je, že se tímto způsobem snižuje možnost zanesení pórů prachem, detergenty, pesticidy atd. Příkladem je materiál Entrant od firmy Toray, kde na hydrofilní membránu je nanesen mikroporézní zátěr. Tento kompak je spojen s vrchovým materiálem (obr. 11) [3, 9].



Obr. 11 Entrant od firmy Toray [9].

1.3 Srovnání hydrofilních a hydrofobních membrán a zátěrů

K přenosu vodních par přes membrány/zátěry dochází na odlišném principu. Zatímco u hydrofobních membrán/zátěrů molekuly vodní páry prostupují skrz póry ve struktuře membrány, u hydrofilních dochází k mechanismu absorpce – difúze – desorpce. Rozdíly jsou také ve způsobu výroby membrán/zátěrů.

Hydrofobní membrány/zátěry mají lepší propustnost vodních par. Hydrofilní membrány/zátěry jsou ovlivněny tloušťkou a počtem hydrofilních skupin v polymerní struktuře. Hydrofobní zátěry mají lepší omak oproti hydrofilním, které mají oproti nim tužší omak. Hydrofilní zátěry mají v mokřích podmínkách sklon k tvorbě vrásek. Nevýhodou hydrofobních membrán/zátěrů je, že v průběhu užívání se mohou póry zanášet celou řadou prostředků. Mezi ně patří např. špínou nesenou vzduchem, výpotků z pokožky, repelentů proti hmyzu, zbytků pracích prostředků. Následkem toho se snižuje schopnost propustnosti vodních par. Hydrofobní membrány mají menší pevnost v přetrhu oproti hydrofilním membránám s pevnou strukturou. Ve srovnání s mikroporézními membránami výhodou neporézních membrán je jejich jednodušší a rychlejší výroba. Díky pevné struktuře jsou méně citlivé na možnou degradaci. Obě skupiny materiálů jsou větruodolné, jejich přenos vodních par je vysoký a jsou nepromokavé [3].

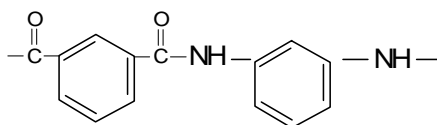
1.4 Materiály používané na ochranné oděvy

Ochranné oděvy zahrnují následující materiálovou sestavu: vnější materiál, vlhkostní bariéru a podšívku (tepelná bariéra). Materiály nesmí být překážkou při zásahu, nesmí ohrožovat nositele. Pro výrobu oděvů pro hasiče se používají vlákna odolná proti teple [11].

1.4.1 Druhy tepelně odolných vláken

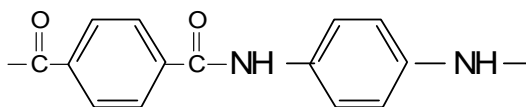
V aplikacích vyžadujících tepelně odolná vlákna s minimální hořlavostí jsou používána vlákna [11, 12]:

- M-aramidy (meta-aramidy): dobrá tepelná odolnost, LOI = 30, pevnost, nevzněcují se, ani netaví, při zvýšených teplotách udržují po delší dobu mechanickou pevnost, elektrické izolační schopnosti, zástupcem je Nomex (DuPont). Obr. 12 znázorňuje strukturu m-aramidu.



Obr. 12 Struktura m-aramidu [12]

- P-aramidy (para-aramidová vlákna): vysoká pevnost a tepelná odolnost, LOI = 28, vysoká pevnost v tahu, nízká chemická odolnost a oděruvzdornost, používají se pro směsi s jinými vlákny, jedná se např. o KEVLAR (DuPont), Technora (Teijin). Obr. 13 ukazuje strukturu p-aramidu.

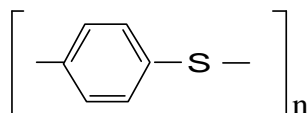


Obr. 13 Struktura p-aramidu [12]

- PTFE: chemická odolnost, nehořlavá, LOI = 95, nízký součinitel tření, poměrně výrazná trvalá deformace za vyšších teplot, z toho důvodu směšována s p-aramidy, TEFLON (DuPont), Toyoflon (Toray). Chemický vzorec podle (1).

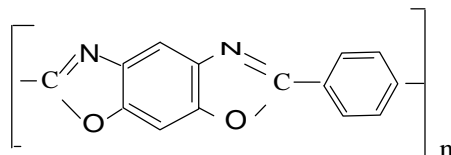


- PS (polyfenylénsulfid): díky vysokému LOI=34 dobrá odolnost vůči plamenům, vynikající chemická odolnost, málo navlhavá, nízká odolnost vůči světelnému a UV záření, nekomfortní, což omezuje aplikaci na oděv, Ryton (Amaco), Procon (Toyobo). Na obr. 14 je struktura PS.



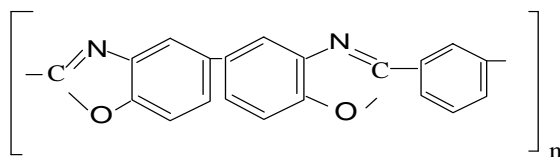
Obr. 14 Struktura PS [12].

- PBO (polyfenylenbenzobioxazol): vynikající tepelné vlastnosti, LOI = 68, vysoká pevnost v tahu, nízká hodnota srážení při extrémně vysokých teplotách, velmi dobrá odolnost vůči oděru, creepu a chemikáliím, odolnost vůči organickým rozpouštědlům, nízká odolnost vůči UV záření, nízká pevnost v tlaku, ZYLON (Toyobo). Obr. 15 ukazuje strukturu PBO.



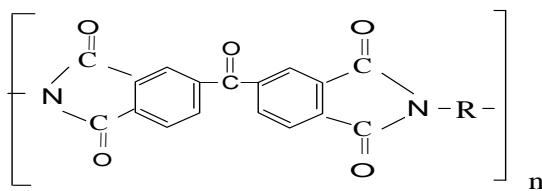
Obr. 15 Struktura PBO [12]

- PBI (polybenzimidazol): neobyčejná chemická a tepelná stabilita, vysoká hodnota LOI=45, dobře se míchá s jinými druhy vláken, nízké stálost vůči UV záření. Obr. 16 znázorňuje strukturu vlákna PBI.



Obr. 16 Struktura PBI [12]

- Melaminoformaldehyd: vysoká hodnota LOI=32, vysoká pracovní teplota, nízká pevnost, vynikající odolnost vůči zásadám a organickým rozpouštědlům, průměrná odolnost vůči kyselinám, obtížnost ve zpracování, z toho důvodu se nepoužívá samostatně, ale ve směsi jinými vlákny, BASOFIL (BASF).
- PI (polyarimid): vyjímečná chemická odolnost, vyjímečná odolnost proti ohni, LOI=38, vysoká pracovní teplota, P-84 (Inspec). Obr. 17 představuje strukturu vlákna PI.



Obr. 17 Struktura PI [12].

- C-P (uhlíkový prekurzor): dobrá odolnost proti ohni, relativně nízká pevnost v tahu, z toho důvodu se míchá s jinými vlákny např. s para-amidovými, LASTAN (Asahi).
- HDPE (vysokohustotní polyetylen): lehké, řezu odolné, vysoká pevnost, Spectra (Honeywell).

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro měření relativní paropropustnosti a výparného odporu byl použit přístroj PERMETEST. Důvodem bylo jednoduché ovládání, časová nenáročnost měření a také to, že je k dispozici na katedře hodnocení textilií. Jedná se o nenormovaný, ale vysoce spolehlivý přístroj s velkou přesností měření.

2.1 Popis materiálů

Použité materiály byly membrány poskytnuté firmu DEVA F-M. s.r.o., která se zabývá výrobou a distribucí ochranných obleků pro pracovníky pohybující se v extrémních podmínkách jako jsou hasiči, záchranáři, armáda, policie. Vzorky materiálů byly měřeny ve vrstvách, v jakých budou uspořádány v hotovém oděvu, i každý vzorek samostatně. To znamená, že série vzorků se rozrostla o výsledky měření vrchového materiálu, membrány i podšívky. Zkoumané vzorky jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 2. Popis zkoumaných materiálu

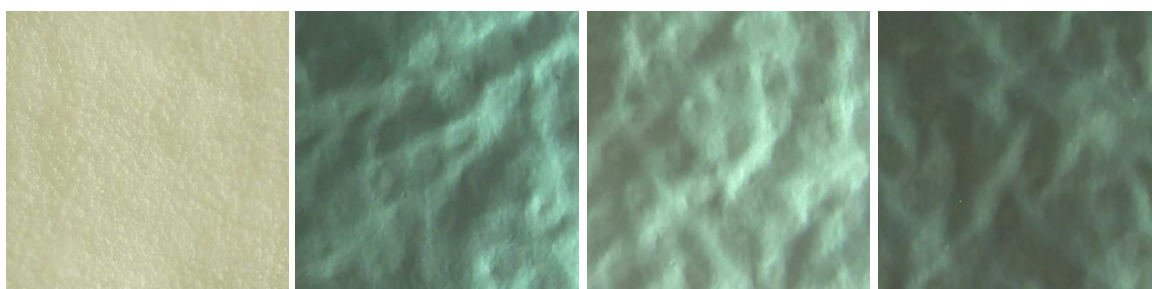
označení	materiál	druh laminátu	nosný materiál	Plošná hmotnost [g/m ²]	složky sendviče	
					vrchní textilie	podšívka
Vzorek 1	PU	Z-liner	Netkaná textilie	130	NOMEX	NOMEX
Vzorek 2	GORE-TEX	Z-liner	Netkaná textilie	140	NOMEX	NOMEX
Vzorek 3	GORE-TEX	Z-liner	tkanina	175	NOMEX	NOMEX

Velký důraz byl kladen na zjištění změn výparného odporu a relativní paropropustnosti po praní. Měření bylo prováděno na sérii vzorků nevypraných a po 10, 20 a 30 cyklech praní. Praní bylo prováděno podle doporučeného pracovního postupu a podle ČSN EN ISO 6330 (80 0821): praní při 60°C, sušení při 75°C po dobu 30 minut na obnovení finální úpravy na ochranu proti tekutým chemikáliím. Zkušební vzorky byly prány v automatické pračce a sušeny podle stanovených postupů [13].

Předpokládá se, že hodnoty relativní paropropustnosti po pracích cyklech se budou snižovat a výparný odpor zvyšovat. Také se předpokládá, že se zvyšujícími hodnotami výparného odporu bude klesat relativní paropropustnost.

2.1.1 Mikroskopické pohledy membrán

Na mikroskopu byly nasnímány povrchy membrán a nosných textilií při zvětšení 12,5x. Byly nasnímány vzorky nevyprané a po pracích cyklech. Na obr. 18 a) je zobrazena PU membrána nevypraná, obr. 18 b) znázorňuje PU membránu po 10 cyklech praní, obr. 18 c) po 20 cyklech praní a obr. 18 d) po 30 cyklech praní.



a)

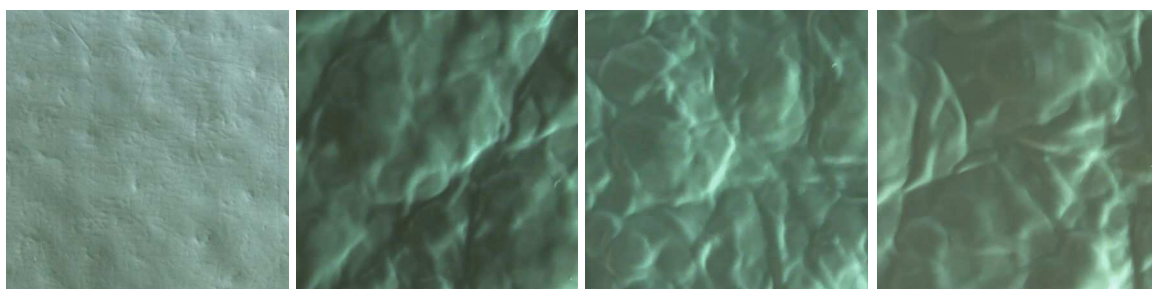
b)

c)

d)

Obr. 18 PU membrána nevypraná a), po 10 cyklech praní b), po 20 cyklech praní c) a po 30 cyklech praní d).

Membrána GORE-TEX Fireblocker je zobrazena na obr. 19 a) nevypraná, b) po 10 cyklech praní, c) po 20 cyklech praní, d) po 30 cyklech praní.



a)

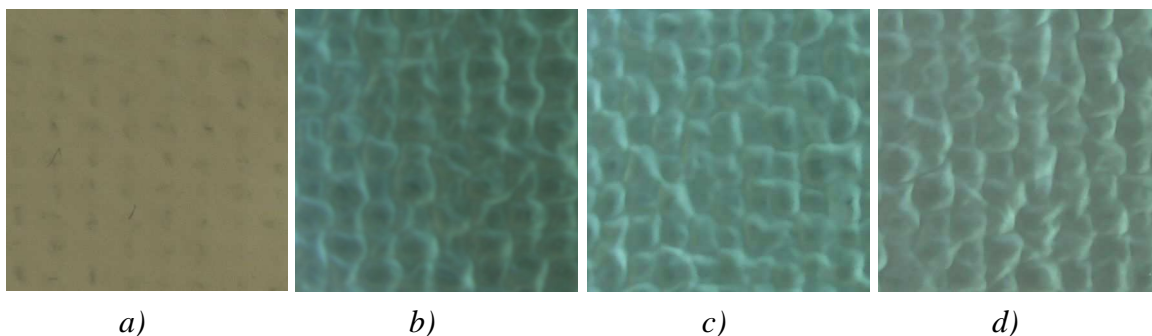
b)

c)

d)

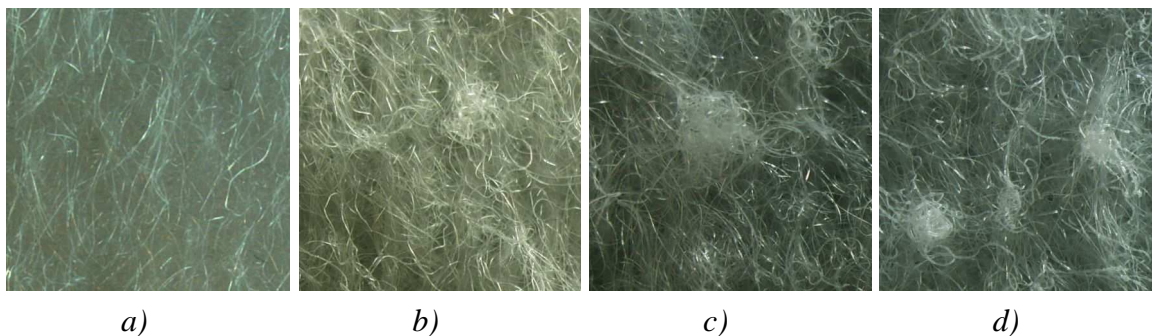
Obr. 19 Membrána GORE-TEX Fireblocker nevypraná a), po 10 cyklech praní b), po 20 cyklech praní c), po 30 cyklech praní d).

Membrána GORE-TEX Flameliner je zachycena na obr. 20 a) nevypraná, b) po 10 cyklech praní, c) po 20 pracích cyklech a d) po 30 pracích cyklech.



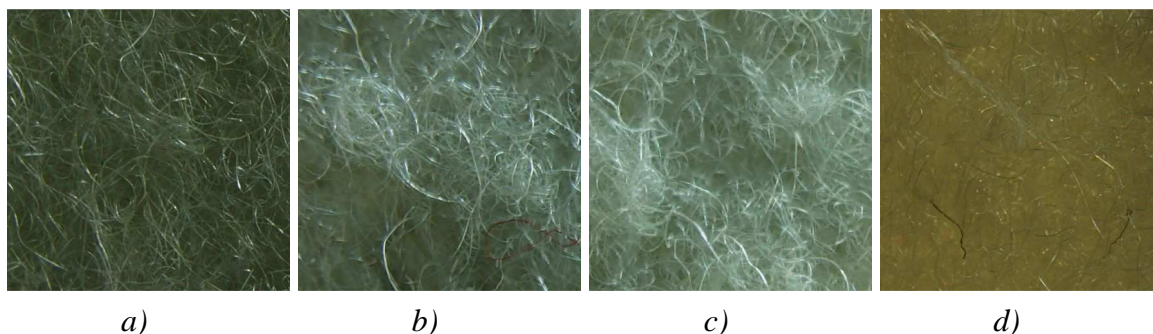
Obr. 20 Membrána GORE-TEX Flameliner nevypraná a), po 10 cyklech praní b), po 20 cyklech praní c), po 30 cyklech praní d).

Mikroskopické pohledy na nosné textilie nevyprané a po pracích cyklech při zvětšení 12,5x. Netkaná textilie, s níž je spojená PU membrána, je zobrazena na obr. 21 a) nevypraná, b) po 10 cyklech praní, c) po 20 cyklech praní a d) po 30 pracích cyklech.



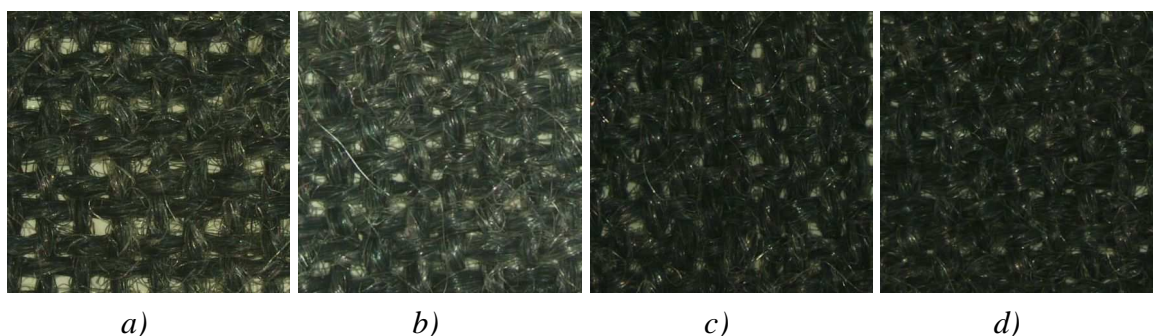
Obr. 21 Nosná textilie u PU membrány nevyprané a), 10x praná b), 2x praná c), 30x praná d).

Nosná textilie membrány GORE-TEX Fireblocker je znázorněna na obr. 22 a) nevypraná, b) 10x praná, c) 20x praná a d) 30 x praná.



Obr. 22 Nosná textilie membrány GORE-TEX Fireblocker nevypraná a), 10x praná b), 2x praná c), 30x praná d).

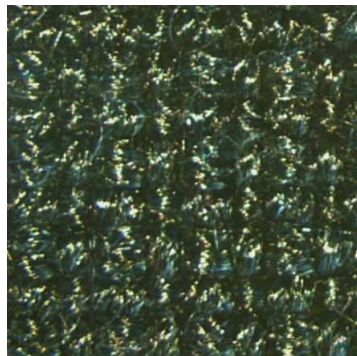
Pohled na nosnou textilií membrány GORE-TEX Flameliner je na obr. 23 a) nevypranou, b) 10x pranou, c) 20x pranou a d) 30x pranou.



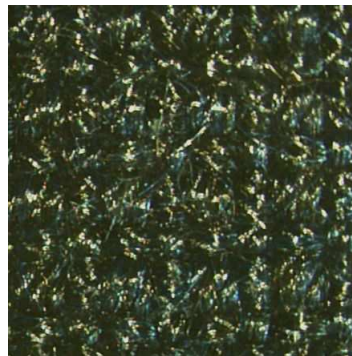
Obr. 23 Nosná textilie membrány GORE-TEX Flameliner nevypraná a), 10x praná b), 2x praná c), 30x praná d).

2.1.2 Mikroskopické pohledy na vrchní materiál a podšívku

Mikroskopickými pohledy na vrchní materiál se zabývá obr. 24 a) na líc a b) na rub při zvětšení 12,5x. Podšívka je znázorněna na obr. 25 a) líc a b) rub též při zvětšení 12,5x.

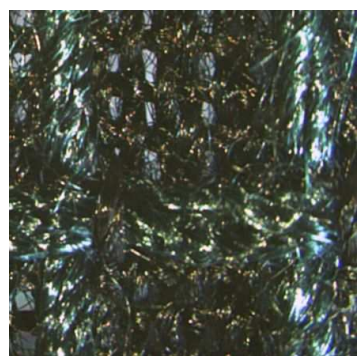


a)

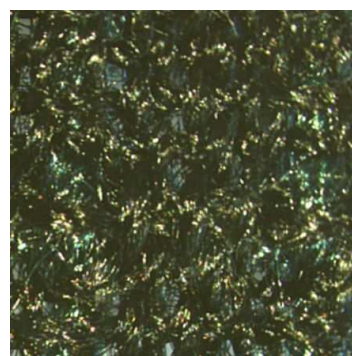


b)

Obr. 24 Vrchní materiál líc a) a rub b).



a)

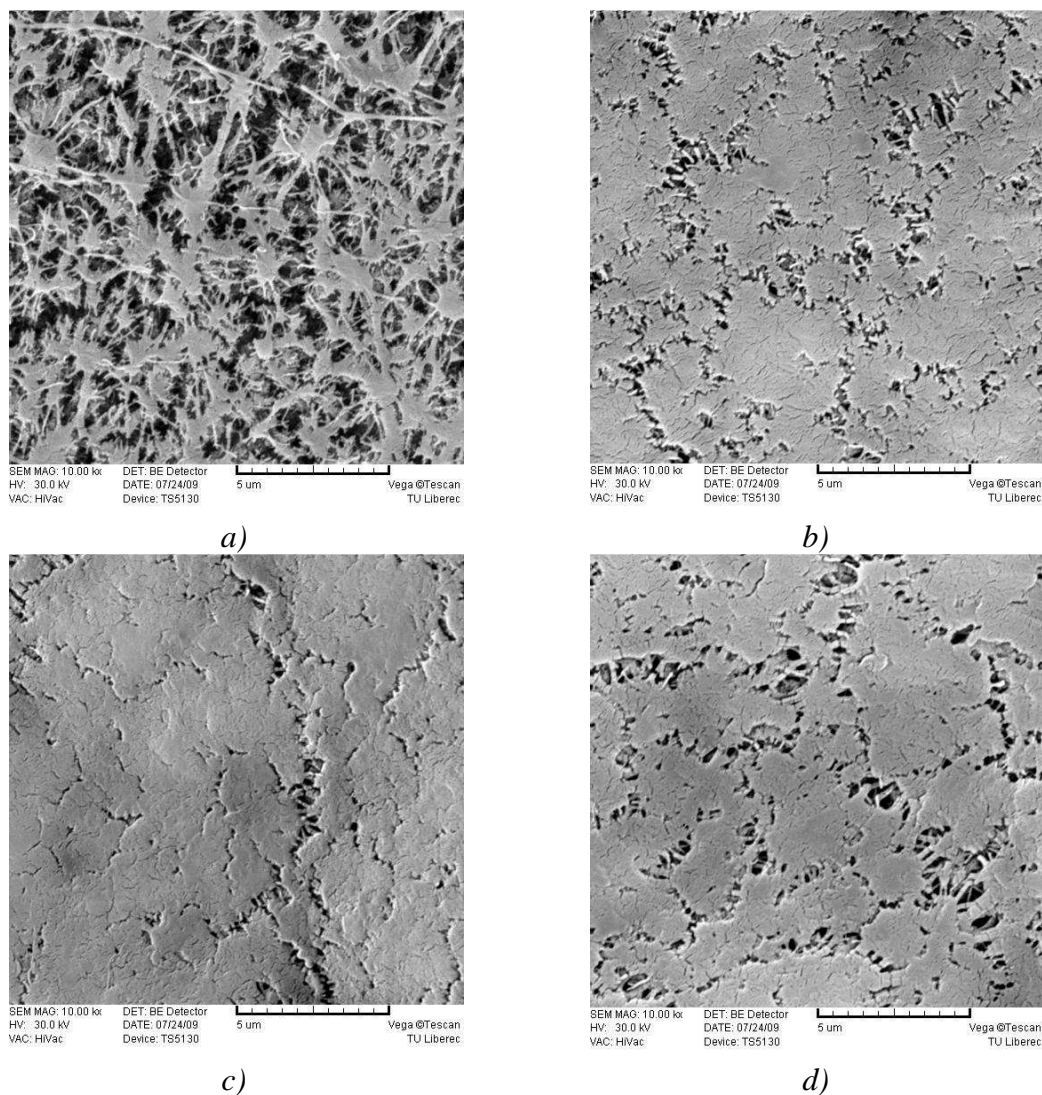


b)

Obr. 25 Podšívka líc a), rub b).

2.1.3 Snímky z rastrovacího elektronového mikroskopu

Na rastrovacím elektronovém mikroskopu AQUASEM, který je umístěn v laboratoři katedry textilních materiálů, byly pořízeny obrázky membrány Fireblocker po pracích cyklech. Na obr 26 a) vidět porézní struktura GORE-TEXOVÉ membrány, obr. 26 b), c), d) jsou po násobném praní. Je na nich viditelné uzavírání pórů.



Obr. 26 Membrána Fireblocker nevypraná a), po 10 cyklech ptaní b), po 20 cyklech praní c), po 30 cyklech praní d).

2.2 Subjektivní zhodnocení vzhledu

PU membrána

Plošná hmotnost 130g/m^2 , nosná textilie použita netkaná textilie z vlákna NOMEX

- Nevypraná – tužší na omak, pevnější; membrána hladká, nepoškozená, neporušená struktura; nosná textilie nepoškozená se zřetelnou strukturou.
- 10x praná – na omak měkčí, splývavější; membrána se zvrásněným povrchem; netkaná textilie žmolkovitá.
- 20x praná – výraznější lomy, pod mikroskopem při zvětšení 12,5x je vidět způsob nánosu netkané textilie na membránu; na netkané textilií jsou vytvořené žmolky.
- 30x praná – z lící strany membrána zmačkaná, z rubu více žmolků než u předchozích prání.

Po prání je pod mikroskopem vidět způsob spojení membrány s nosným materiálem. Jedná se o bodový nános. S počtem pracích cyklů nosná textilie více žmolkuje.

GORE TEX Fireblocker

Plošná hmotnost 140g/m^2 , jako nosná textilie je použita netkaná textilie z vlákna NOMEX.

- Nevypraný – omak tužší, silnější než PU membrána; membrána hladká, neporušená; netkaná textilie nepoškozená.
- 10x praná – ohebnější, membrána zmačkaná; na netkané textilií jsou žmolky.
- 20x praná – na omak měkčí, ohebnější než 10x praná, také slabší; membrána zmačkaná, netkaná textilie více žmolkovitá než u předchozího prání.
- 30x praná – opět slabší a více splývavější než 20x praná; na membráně jsou viditelné vrásky; na netkané textilií jsou žmolky, ale počet je zhruba srovnatelný s 20x práným vzorkem s tím rozdílem, že žmolky jsou větší.

GORE TEX Flameliner

Plošná hmotnost 175g/m^2 , jako nosná textilie použita textilie tkaná v plátňové vazbě, dostava vazby je 22×18 nití na cm^2 . Nosná textilie je vyrobena z viskózy, která má sníženou hořlavost.

- Nevypraný – splývavější než předchozí nevyprané; membrána hladká, neporušená; zřetelná neporušená vazba tkaniny, přes póry ve vazbě prosvítá membrána.
- 10x praný – ohebnější, splývavější; membrána stále hladká, ale membrána mapuje vazbu, membrána prosvítá přes prostory mezi vaznými body; tkanina má měkčí chlupatější povrch.
- 20x praný – liší se v omaku, splývavější, měkčí; příze v tkanině se rozvolňuje.
- 30x praný – výraznější povrch s lomy, splývavější; tkanina s rozvolňujícími přízemi a vystupujícími vlákny, přes póry v tkanině neprosvítá membrána.

Závěrem lze říct, že s počtem pracích cyklů se mění vzhled vzorků. Vzorky ztrácí na tuhosti, jsou měkčí, splývavější, ohebnější, na lícni straně jsou membrány zvrásněnější, s lomy, v rubu se u nosné textilie tvoří žmolky, plátňová vazba se rozvolňuje a vystupují z ní vlákna.

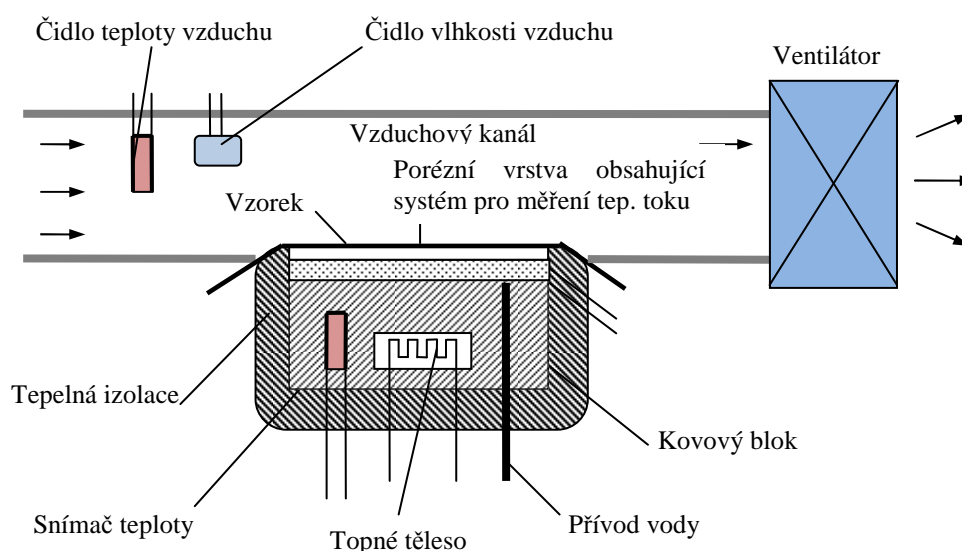
Na vrchní materiál byl použit materiál s výrobním názvem Tiger, jako podšívka byla použita tkanina se zatkanými silnějšími nitěmi v osnově i útku pro zlepšení přenosových vlastností textilie. Obě tkaniny jsou vyrobeny z vlákna Nomex. Vrchní materiál je tkán v plátňové vazbě s dostavou 26 x 26 nití na cm^2 . Dostava byla zjištěna páráním. Po pracích cyklech subjektivním hodnocením je vrchní materiál světlejší, s odstávajícími vlákny, ohebnější.

Podšívka s dostavou 25 x 19 nití na cm^2 tkaná v plátňové vazbě. Dostava byla zjištěna páráním. Byl proveden rozbor přízi. Po sedmi osnovních nitích zatkaná čtyřmo skaná příze se zákrutem S, jednotlivé příze jsou dvojmo skané příze se zákrutem S, jednoduché příze jsou družené. Útková příze je dvojmo skaná se zákrutem S, jednoduché příze mají mírný zákrut S. Nevypraná podšívka je tužší se zřetelnou a hladkou vazbou. V rámci subjektivního pozorování podšívka po pracích cyklech mírně ztrácí barvu, je ohebnější, vložené příze ztrácejí zákrut, jsou více rozvolněné.

2.3 Měření na přístroji PERMETEST

Přístroj se používá k měření výparného odporu, paropropustnosti a tepelného odporu. Mezi nespornou výhodou patří časová nenáročnost a použití v běžných klimatických podmínkách.

Přístroj je založen na principu přímého měření tepelného toku q , který prochází porézním povrchem tepelného modelu lidské pokožky. Na zvlhčovaný porézní povrch je přikládána separační folie. Na tuto folii se přikládá zkoušený materiál. Přes vnější stranu materiálu je přiváděn vzduch. Na obr. 27 je znázorněno schéma přístroje PERMETEST [14].



Obr. 27 Schéma přístroje PERMETEST [14]

Měření výparného odporu a paropropustnosti probíhá za izotermních podmínek. Přiváděná vlhkost se v porézní vrstvě mění na vodní páru, která přes separační folii prochází skrz měřeným materiálem. Nejdříve se měří tepelný tok bez materiálu, poté s materiálem. Příslušné hodnoty výparného tepelného toku se zaznamenávají snímačem. Hodnoty jsou přímo úměrné paropropustnosti materiálu nebo nepřímo úměrné jeho výparnému odporu [14].

Parametry přístroje [15]:

Rozsah výparného odporu R_{et} : 1~200 m²Pa/W

Rozsah relativní paropropustnosti: 1,5~100 %

Rozsah tepelného odporu R_{ct} : 0,02~1 m²K/W

Rozsah tepelné propustnosti: 1~500 W/m²/K

Rozsah tloušťky tkaniny: 0,1~7 mm (nebo i více, ale se sníženou přesností)

Rychlost paralelního proudění vzduchu: 1~2 m/s

Rozměry přístroje: 540 x 230 x 130 mm

Hmotnost: 7 kg

Napájecí napětí: 120 nebo 220 V / 50~60 Hz, příkon 50W

2.3.1 Měření výparného odporu

Měření probíhá v souladu s ČSN EN 31092, která vychází z ISO 11092. Výparný odpor představuje latentní výparný tepelný tok procházející příslušnou plochou modelu. Shoduje se s použitým ustáleným tlakovým gradientem vodní páry [16].

$$R_{et} = ((p_m - p_a) * A) * (H^{-1} - \Delta H_e^{-1}) - R_{et0} [m^2 Pa/W] \quad (2)$$

Hodnota R_{et0} představuje výparný odpor nezakryté destičky a stanoví se podle rovnice (3) [16].

$$R_{et0} = ((T_m - T_a) * A) * (H^{-1} - \Delta H_e^{-1}) \quad (3)$$

Pro PERMETEST upraveno na [14, 15]:

$$R_{et} = (p_m - p_a) * (q_v^{-1} - q_0^{-1}) = C * (100 - \varphi) * (q_v^{-1} - q_0^{-1}) \quad (4)$$

Kde C je konstanta určená kalibrací přístroje. Pro kalibraci se používá hydrofobní PP referenční tkanina. Relativní vlhkost φ by měla být v rozmezí 45~60 % [15].

2.3.2 Měření relativní paropropustnosti

Měří se podíl odparu vodní páry ze zvlhčovaného porézního povrchu modelu. Jedná se o velmi praktický parametr, kde 100% propustnost znamená hodnotu tepelného toku q_0 získaného odparem z volné vodní hladiny. Tepelný tok q_v je hodnota měřeného materiálu, kterým se zakryla tato volná hladina. Rozměry volné vodní hladiny a měřeného materiálu jsou stejné [14].

$$p = (q_v / q_0) * 100 [\%] \quad (5)$$

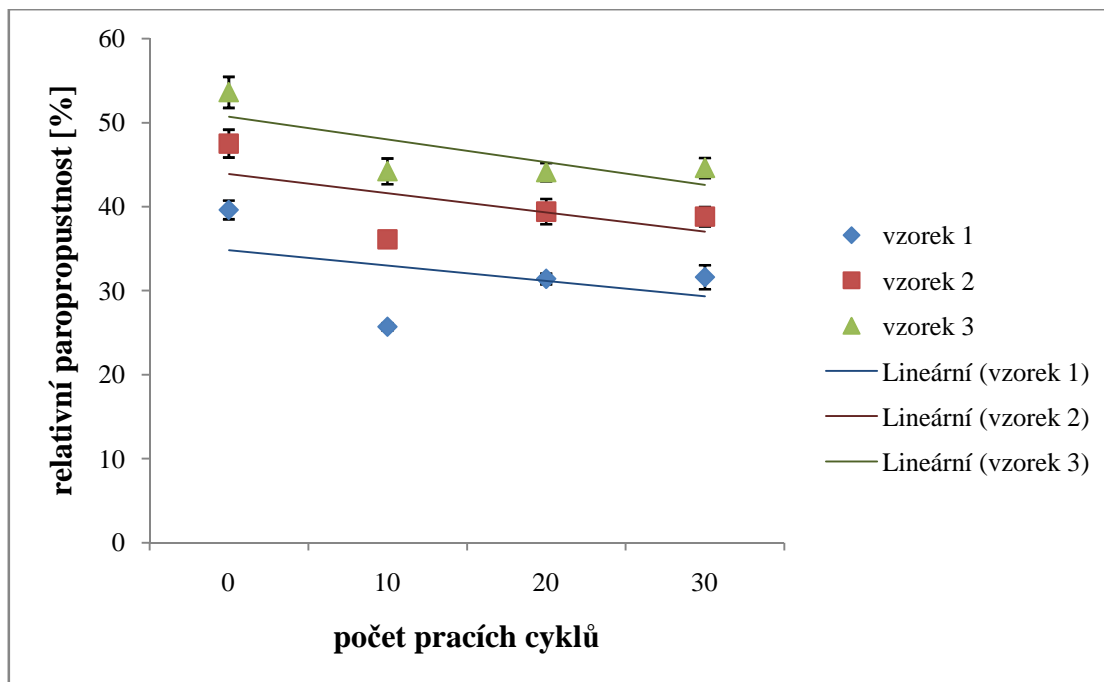
V minulosti se pro propustnost vodních par používala jednotka $\text{g/m}^2 \cdot 24 \text{ hod}$. Vyhodnocení propustnosti vodních par pro textilní materiály podle stávajících norem je následující [14]:

R_{et}	< 6	Velmi dobrá	(nad 20 000 $\text{g/m}^2 \cdot 24 \text{ hod}$)
R_{et}	6~13	Dobrá	(9000~ 20 000 $\text{g/m}^2 \cdot 24 \text{ hod}$)
R_{et}	13~20	Uspokojivá	(5000~9000 $\text{g/m}^2 \cdot 24 \text{ hod}$)
R_{et}	> 20	Neuspokojivá	(pod 5000 $\text{g/m}^2 \cdot 24 \text{ hod}$)

Pro hasičské zásahové uniformy tato klasifikace úplně neodpovídá. Oproti běžným textiliím zásahové obleky musí být odolné vůči dalším vlivům, jako jsou chemikálie, protržení, teplo. Proto hodnoty R_{et} do 30 $\text{m}^2\text{Pa/W}$ jsou brány jako dobré, kritická hodnota je 40 $\text{m}^2\text{Pa/W}$.

2.4 Vyhodnocení výsledků měření samostatných membrán

Na přístroji Permetest byly nejdříve naměřeny vzorky materiálů jednotlivých membrán. Všechny vzorky byly proměřeny 3x a následně z nich byly vypočítány statistické charakteristiky, které jsou znázorněny v následných tabulkách. Na obr. 28 jsou zobrazeny výsledky relativní paropropustnosti i s příslušnými konfidencemi. U relativní paropropustnosti se u všech vzorků projevilo to, že s počtem pracích cyklů relativní paropropustnost klesá. Nejnižší relativní paropropustnost vykazuje vzorek z PU membrány, nejvyšších hodnot dosahuje vzorek ve spojení tkaniny s membránou GORE-TEX. U jednotlivých vzorků je nejvyšší hodnota relativní paropropustnosti u nevypraných vzorků, nejnižší u vzorků po 10 cyklech praní. Poté dochází k mírnému nárůstu hodnot relativní paropropustnosti. Podle klasifikace propustnosti vodních par pro hasičské zásahové obleky je propustnost vodních par u membrán Flameliner a Fireblocker nevyprané velmi dobrá. Fireblocker po cyklech praní a PU membrána mají propustnost vodních par dobrou. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.



Obr. 28 Graf relativní paropropustnosti jednotlivých membrán

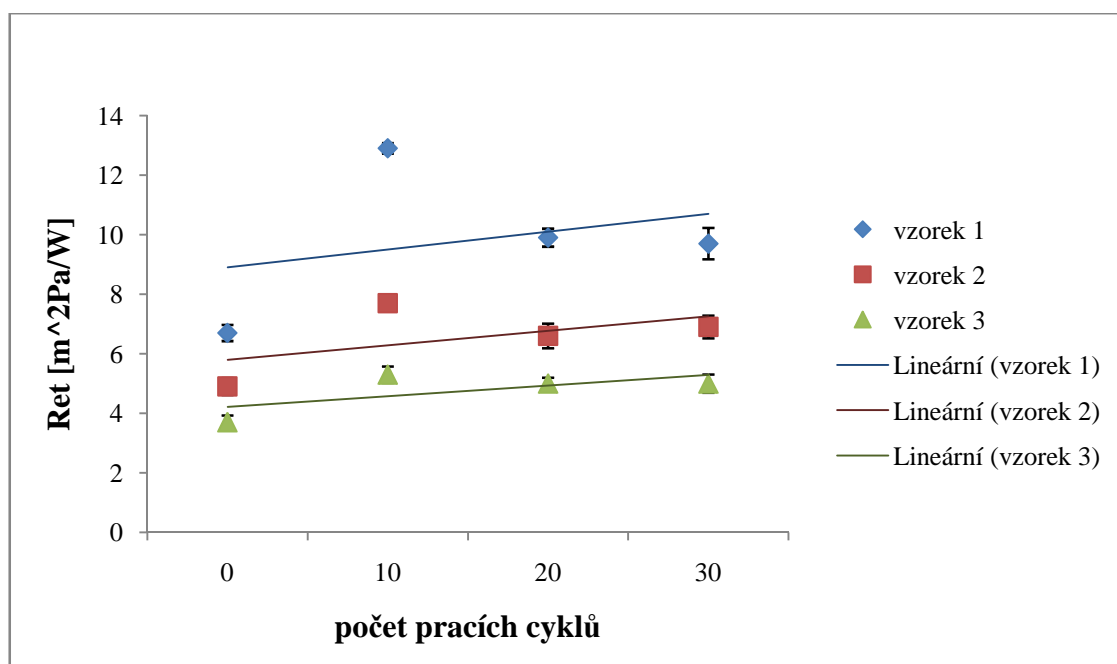
Tab. 3: Relativní paropropustnost [%] jednotlivých membrán

	Prací cykly	Průměr [%]	Variační koeficient [%]	95% IS	
				Dolní mez	Horní mez
Vzorek 1	0	39,6	2,5	38,5	40,7
	10	25,7	1,5	25,3	26,1
	20	31,4	1,8	30,8	32
	30	31,6	4	30,2	33
Vzorek 2	0	47,5	3,1	45,8	49,2
	10	36,1	1,4	35,5	36,7
	20	39,4	3,4	37,9	40,9
	30	38,8	2,7	37,6	40
Vzorek 3	0	55,3	3,1	51,7	55,5
	10	44,2	3,1	42,7	45,7
	20	44,1	2,2	43	45,2
	30	44,6	2,4	43,4	45,8

Obr. 29 znázorňuje hodnoty výparného odporu jednotlivých membrán. Zde se s počtem pracích cyklů jednotlivých membrán zvyšuje hodnota výparného odporu, přímka je stoupající. Největšího výparného odporu dosáhl vzorek s PU membránou, naopak nejnižšího vzorek s membránou GORE-TEX Flameliner (nosná textilie je tkanina). Po 10 cyklech praní je výparný odpor u všech vzorků nejvyšší, nejnižší výparný odpor mají nevyprané vzorky. Zde se potvrdil předpoklad, že když se hodnota výparného odporu snižuje, schopnost textilie propouštět vodní páru roste. Tedy když hodnota R_{et} stoupá, propustnost vrstev pro vodní páru je nižší. Naměřené hodnoty výparného odporu uvádí tab. 4.

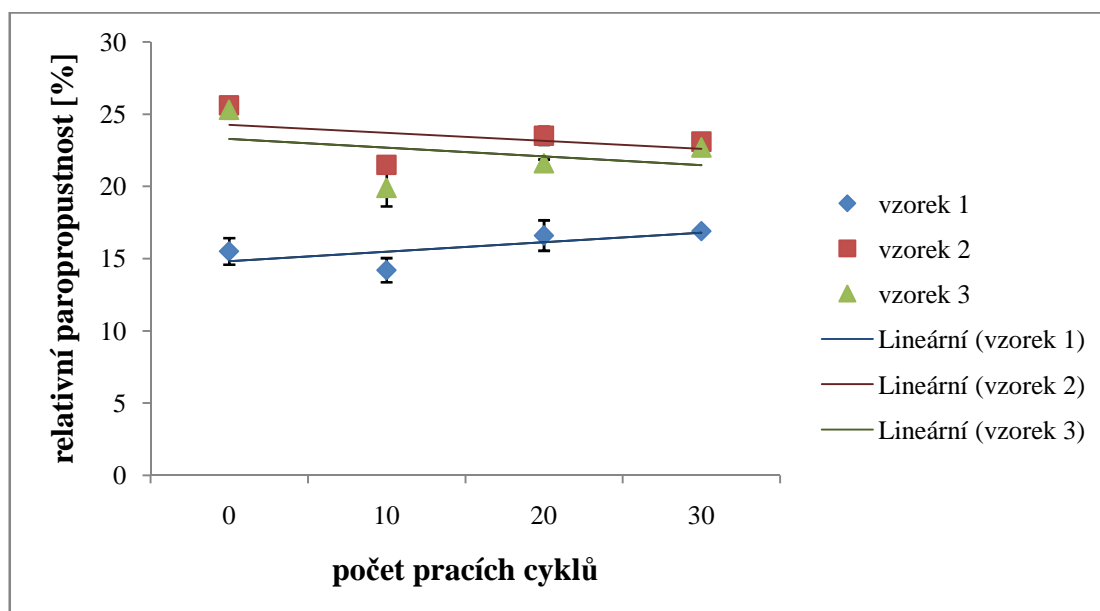
Tab. 4 Výparný odpor [m^2Pa/W]

	Prací cykly	Průměr [m^2Pa/W]	Variační koeficient [%]	95% IS	
				Dolní mez	Horní mez
Vzorek 1	0	6,7	3,6	6,4	7
	10	12,9	1,2	12,7	13,1
	20	9,9	2,7	9,6	10,2
	30	9,7	4,8	9,2	10,2
Vzorek 2	0	4,9	5	4,7	5,3
	10	7,7	1,5	7,6	7,8
	20	6,6	5,5	6,2	7
	30	6,9	4,9	6,5	7,3
Vzorek 3	0	3,7	5,5	3,5	3,9
	10	5,3	4,5	5	5,6
	20	5	3,5	4,8	5,2
	30	5	5,4	4,7	5,3



Obr. 29 Graf výparného odporu jednotlivých membrán

Pro úplnost byly změřeny jednotlivé membrány položené na senzor přístroje obráceně. Získané hodnoty popisuje následující obr. 30. Z nich jasně vyplynulo, že membrány jsou správně orientovány v předchozím případě. Zde propustnost vodních par dosáhla dobrých výsledků v případě membrán Flameliner a Fireblocker, v případě PU membrány jsou výsledky kritickými.

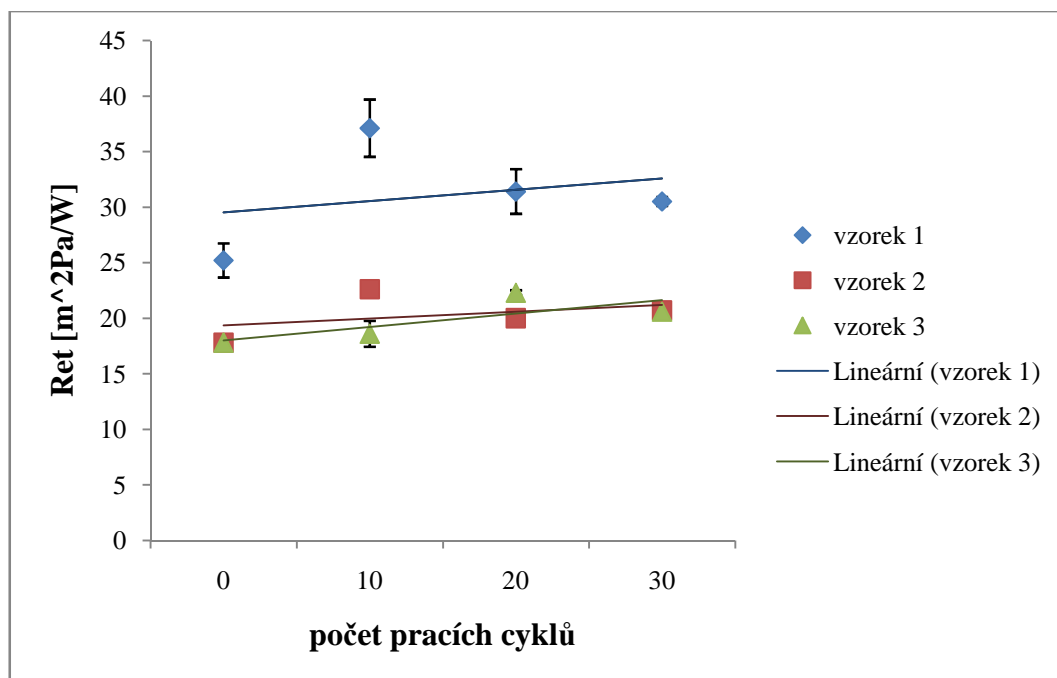


Obr. 30 Graf relativní paropropustnosti obrácených membrán

Zde relativní paropropustnost dosáhla uspokojivých a neuspokojivých výsledků. Nejnižších hodnot relativní paropropustnosti dosáhly vzorky s PU membránou. Nejvyšší hodnoty byly zjištěny u membrány GORE-TEX Fireblocker, kde jako nosné textilie bylo použito netkané textilie.

U všech membrán je stejný pokles a vzestup hodnot relativní paropropustnosti po pracích cyklech. Nejvyšších hodnot dosahovaly nevyprané vzorky, nejnižší pak byly hodnoty u vzorků po 10 cyklech praní. Poté docházelo ke zvyšování hodnot. Nicméně je stoupání velmi malé, což je pravděpodobně způsobeno nižší relativní paropropustností netkané textilie jako takové v rámci transportu vlhkosti k membráně. PU membrána má stoupající trend regresní přímky, u zbývajících dvou membrán je trend klesající.

Výparný odpor obrácených membrán popisuje obr. 31. Nejvyšších hodnot dosáhly vzorky z PU membrány, naopak nejnižší hodnoty jsou u membrány GORE-TEX Flameliner. Nejnižší hodnoty výparného odporu byly naměřeny u všech nevypraných membrán. Po 10 cyklech praní se naměřilo největších výparných odporů u PU membrány a membrány GORE-TEX Fireblocker. U dalších pracích cyklů se hodnoty výparného odporu snižují. U membrány GORE-TEX Flameliner je nejvyšší hodnota naměřena u vzorku po 20 cyklech praní. U všech zkoumaných vzorků membrán po pracích cyklech je trend regresní přímky výparného odporu rostoucí.



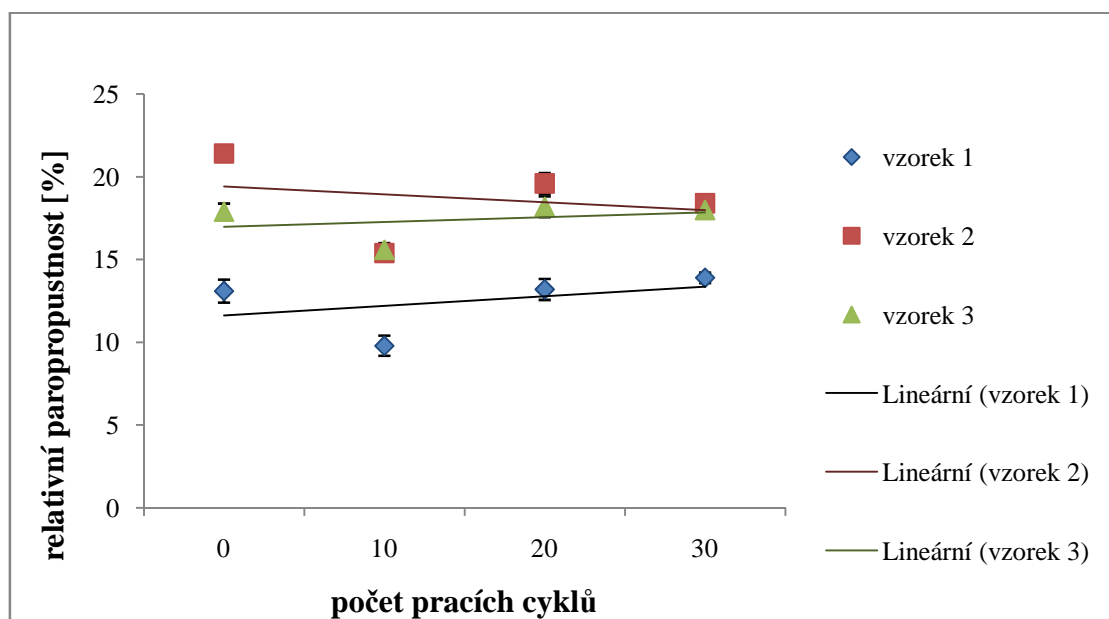
Obr. 31 Graf výparného odporu u obrácených membrán

2.5 Vyhodnocení výsledků měření vrstev

Následující část popisuje vlastnosti vrstev, které se skládají z podšívky, membrány a vrchového materiálu.

Obr. 32 charakterizuje relativní paropropustnost vrstev. Nejnižší hodnota relativní paropropustnosti vrstev je u PU membrány, nejvyšší u GORE-TEX Fireblocker. U vrstev je nejnižší hodnota relativní paropropustnosti u vzorků po 10 cyklech praní. Nejvyšší hodnoty jsou u nevypraných vzorků. Směrnice regresní přímky PU membrány a membrány GORE-TEX Flameliner je stoupající. U GORE-TEX Fireblocker je klesající.

Obr. 33 popisuje výsledky měření výparného odporu vrstev. Nejvyšších hodnot výparného odporu dosáhla vrstva obsahující PU membránu. U ostatních dvou se výparné odpory téměř překrývají. U všech je stoupající trend přímky. Z toho jasně vyplývá, že s počtem pracích cyklů hodnota výparného odporu roste.

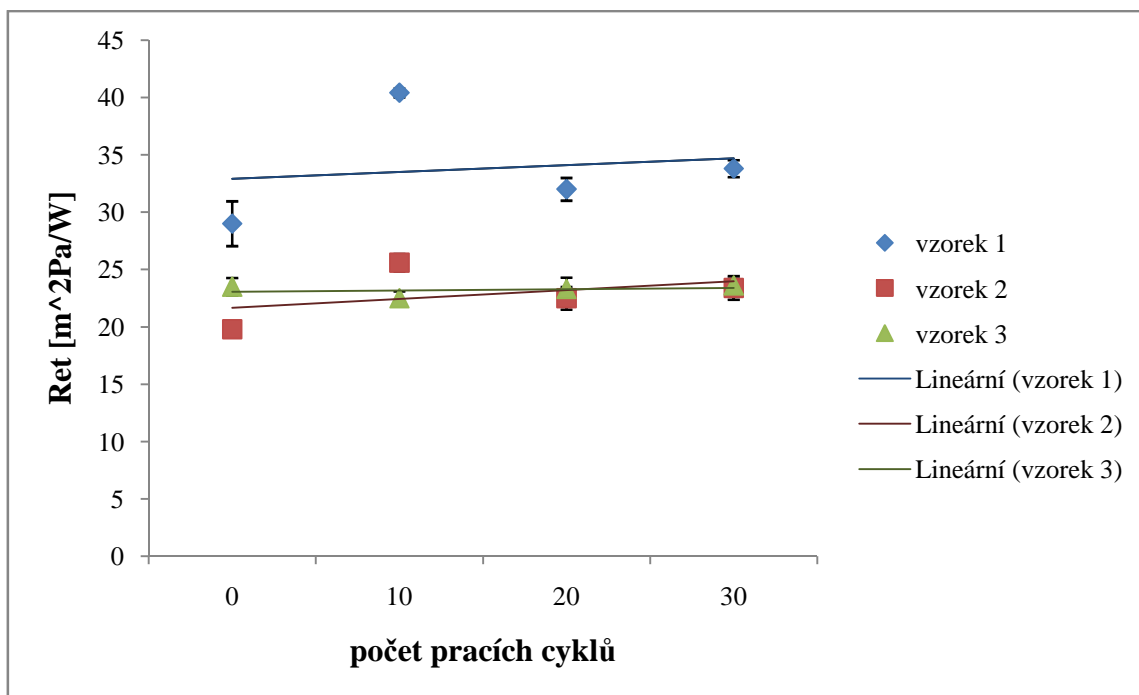


Obr. 32 Graf relativní paropropustnosti vrstev

Hodnoty naměřené relativní paropropustnosti vrstev jsou uvedeny v tab. 5. Výsledky měření výparného odporu vrstev jsou v tab. 6.

Tab. 5 Relativní paropropustnost [%] vrstev

	Prací cykly	Průměr [%]	Variační koeficient [%]	95% IS	
				Dolní mez	Horní mez
Vzorek 1	0	13,1	4,7	12,4	13,8
	10	9,8	5,5	9,2	10,4
	20	13,2	4,2	12,6	13,8
	30	13,9	2	13,6	14,2
Vzorek 2	0	21,4	0,9	21,2	21,6
	10	15,4	1,4	15,1	15,7
	20	19,6	2,8	19	20,2
	30	18,4	2,4	17,9	18,9
Vzorek 3	0	17,9	2,4	17,4	18,4
	10	15,6	5,2	14,7	16,5
	20	18,2	1,9	17,8	18,6
	30	18	2	17,6	18,4
Otočený vzorek 2	0	16,9	3,1	16,3	17,5
	10	14,2	0,9	14,1	14,3
	20	14,4	1,6	14,1	14,7
	30	13,9	1,2	13,7	14,1



Obr. 33 Graf výparný odpor vrstev

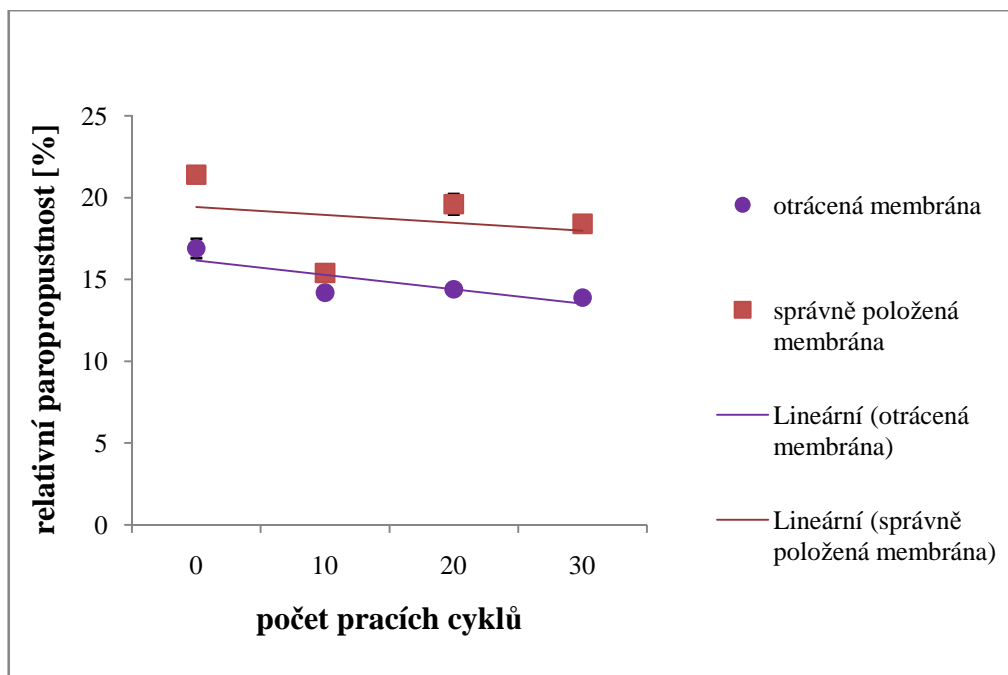
Tab. 6 Výparný odpor vrstev [m^2Pa/W]

	Prací cykly	Průměr [m^2Pa/W]	Variační koeficient [%]	95% IS	
				Dolní mez	Horní mez
Vzorek 1	0	29	5,9	27	31
	10	40,4	0,9	40	40,8
	20	32	2,7	31	33
	30	33,8	1,9	33,1	34,5
Vzorek 2	0	19,8	2,8	19,2	20,4
	10	25,6	2,6	24,6	26,4
	20	22,5	3,9	21,5	23,5
	30	23,4	3,9	22,4	24,4
Vzorek 3	0	23,5	2,8	22,7	24,3
	10	22,5	5	21,2	23,8
	20	23,3	2,2	22,7	23,9
	30	23,6	2,3	23	24,2
Obrácený vzorek 2	0	21,5	4,8	20,3	22,7
	10	26,7	1,1	26,4	30
	20	25,8	0,6	25,6	26
	30	25	3,3	24,1	25,9

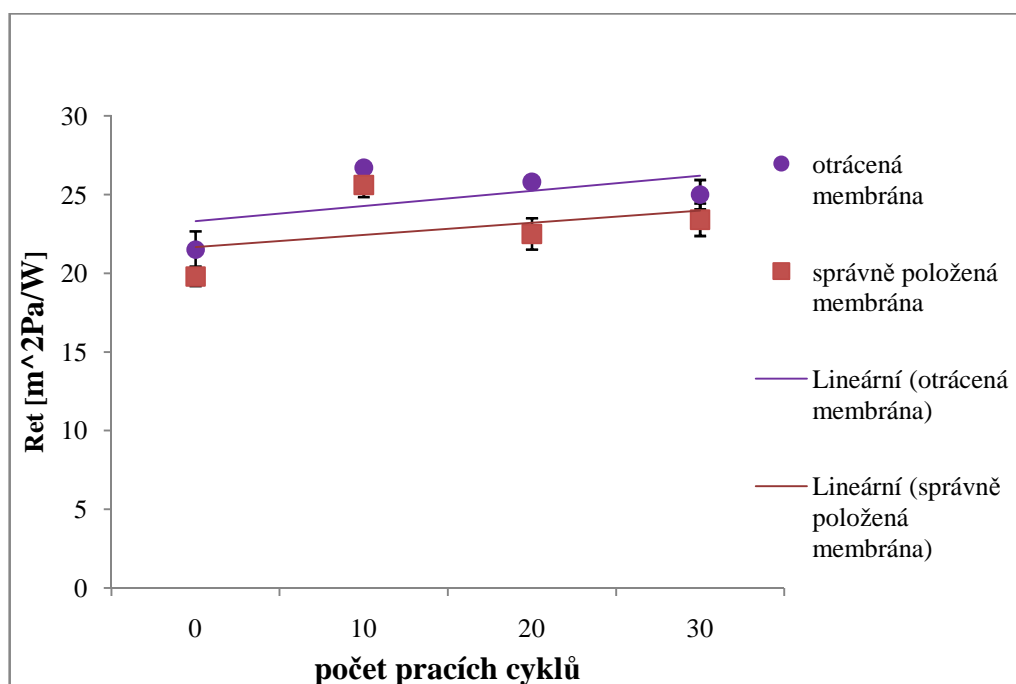
Pro porovnání se změřila i relativní paropropustnost vrstvy s otočenou membránou. Měření probíhalo jen u vzorku GORE-TEX Fireblocker. Na obr. 34 je zhodnocen výsledek měření. Relativní paropropustnost má totožný trend se správně otočenou membránou GORE-TEX Fireblocker, ale hodnoty jsou nižší. Z toho vyplývá, že pro vodní páru je vyšší u správně otočené membrány.

Pro úplnost je na obr. 35 uveden výsledek měření výparného odporu vrstvy s obrácenou membránou. Hodnoty výparného odporu u otočené membrány jsou vyšší než u správně orientovaných. S počtem cyklů praní stoupá hodnota výparného odporu. Přestože se jedná o otočenou membránu, dosáhla hodnota výparného odporu nižších hodnot než u PU membrány. Bylo tedy ověřeno, že stávající vrstvení je správné.

Propustnost vodních par vrstev se jeví jako dobrá u membrán Flameliner, Fireblocker, i otočené Fireblocker, i když ta má vyšší hodnoty než správně orientovaná. Jako nevyhovující je PU membrána.



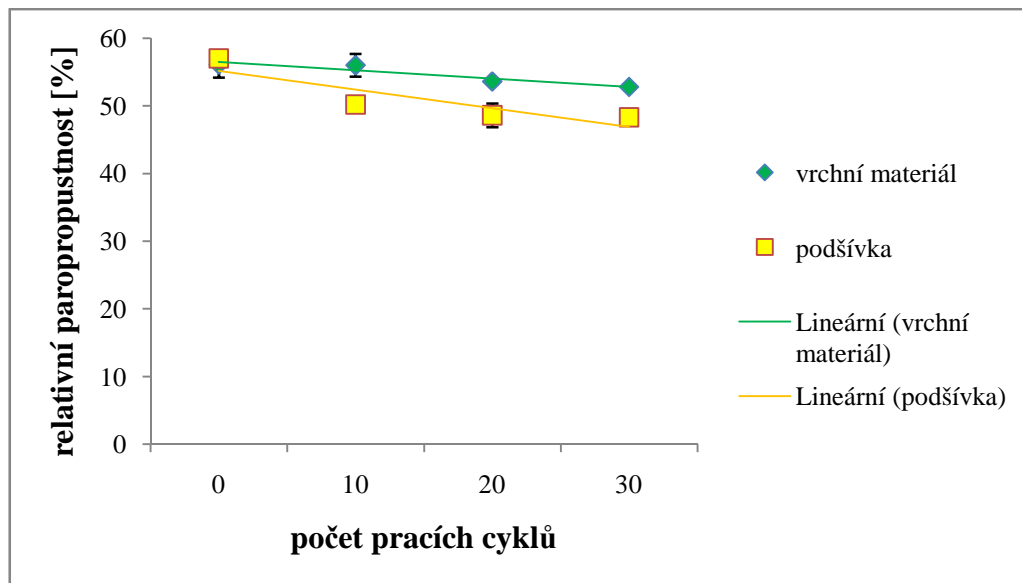
Obr. 34 Porovnání relativní paropropustnosti správně orientované a obrácené membrány v sendviči



Obr. 35 Porovnání výparného odporu u správně orientované a obrácené membrány v sendviči

2.6 Výsledky měření vrchního materiálu a podšívky

Na obr. 36 jsou hodnoty relativní paropropustnosti vrchního materiálu a podšívky. U obou druhů materiálů největší paropropustnost byla naměřena u nevypraných vzorků, naopak nejnižší u vzorků po 30 pracích cyklech. S počtem pracích cyklů se hodnoty relativní paropropustnosti mírně snižují. Propustnost vodních par u obou textilií nevypraných a i po pracích cyklech je velmi dobrá. Tabulka 7 předkládá naměřené hodnoty obou materiálů.

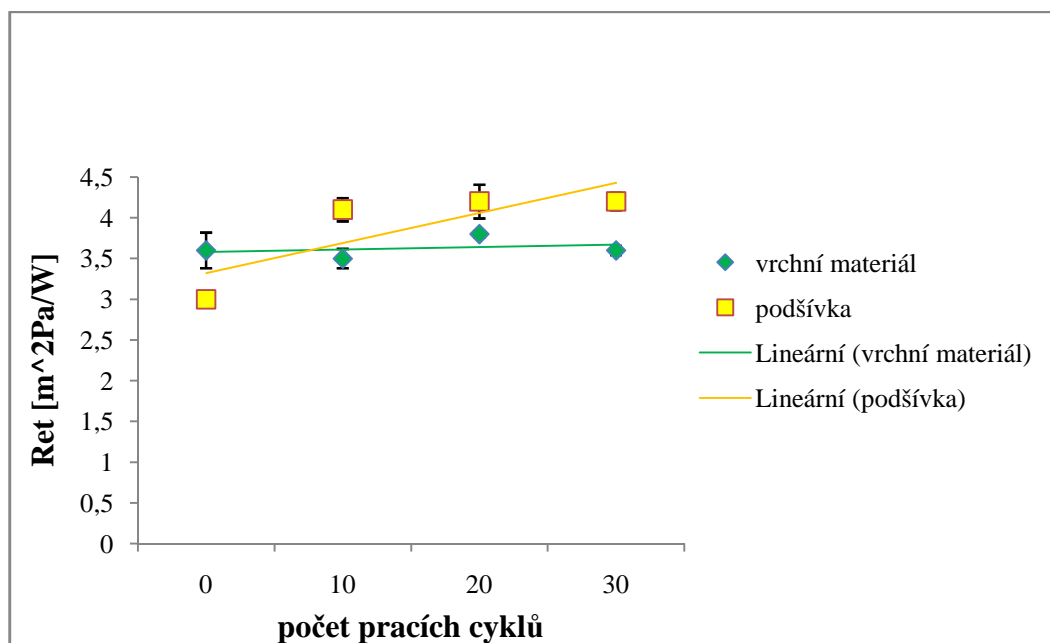


Obr. 36 Graf paropropustnosti vrchního materiálu a podšívky

Tab. 7 Relativní paropropustnost [%]

	Prací cykly	Průměr [%]	Variační koeficient [%]	95% IS	
				Dolní mez	Horní mez
Vrchní materiál	0	56,1	3	54,2	58
	10	56	2,7	54,3	57,7
	20	53,6	0,6	53,2	54
	30	52,8	0,6	52,4	53,2
podšívka	0	57	0,7	56,6	57,4
	10	50,2	1,8	49,2	51,2
	20	48,6	3,2	46,8	50,4
	30	48,3	1,7	47,4	49,2

Výparným odporem podšívky a vrchního materiálu se zabývá obr. 37. V tabulce 8 jsou uvedeny hodnoty z měření výparného odporu. Výparný odpor u podšívky je nejnižší u nevypraného vzorku, po 20 a 30 pracích cyklech vzorky dosáhly totožných hodnot. S počtem pracích cyklů výparný odpor u podšívky mírně stoupá. U vrchního materiálu je nejnižší hodnota naměřena u vzorku po 10 cyklech prání, nejvyšší po 20 pracích cyklech. Přírůstek výparného odporu vrchního materiálu je stoupající. Nicméně výsledky po dalších pracích cyklech by nebyly příliš dramatické vzhledem k tomu, že jediný výrazný skok je mezi nevypraným vzorkem a vypraným po prvních 10 cyklech.



Obr. 37 Graf výparného odporu vrchního materiálu a podšívky

Tab. 8 Výparný odpor [$\text{m}^2\text{Pa/W}$]

	Prací cykly	Průměr [$\text{m}^2\text{Pa/W}$]	Variační koeficient [%]	95% IS	
				Dolní mez	Horní mez
Vrchní materiál	0	3,6	5,4	3,4	3,8
	10	3,5	3	3,4	3,6
	20	3,8	0,9	3,76	3,84
	30	3,6	1,4	3,5	3,7
podšívka	0	3	1,2	2,96	3,04
	10	4,1	3,1	4	4,2
	20	4,2	4,4	4	4,4
	30	4,2	2,3	4,1	4,3

Diskuze

Pro zjištění komfortních vlastností textilií používaných na hasičské zásahové obleky byl použit přístroj PERMETEST. Měření probíhalo v souladu s normou ČSN EN 31092. Byly získány hodnoty výparného odporu a relativní paropropustnosti samostatných membrán, vrchového materiálu a podšívky, tak i hodnoty soustav, ze kterých bude oblek sestaven. Byl sledován vliv praní na komfortní vlastnosti (10, 20, 30 cyklů). Při praní vzorků bylo postupováno podle ČSN EN ISO 6330 (80 0821).

Jeden prací cyklus se skládal s normovaného praní stanoveného podle doporučených symbolů údržby. Přestože je standardní teplota prací lázně 40°C, byla zvolena mezní doporučená teplota praní 60°C, kvůli testování největšího možného opotřebení. Dále byl materiál sušen v automatické sušičce. Protože pracímu procesu byly vystaveny všechny materiály zároveň jako ve skutečném oděvu, byla ještě zařazena operace aktivování finální úpravy vrchového materiálu při teplotě 75°C po dobu půl hodiny v klimatizační komoře.

Membrány byly vyrobeny z PU a PTFE (GORE-TEX). PU membrána byla nalaminovaná na netkanou textilií z m-aramidového vlákna Nomex. Membrána GORE-TEX Fireblocker byla nanesená také na netkanou textilií z m-aramidového vlákna Nomex. Vzorek 3 byl složen z membrány GORE-TEX Flameliner a tkaniny v plátňové vazbě z viskózy s nehořlavou úpravou. Vrchový materiál i podšívka byly z vlákna Nomex.

Měření relativní paropropustnosti samostatných membrán ukázalo, že nejlepšího výsledku bylo dosaženo u membrán v pořadí Flameliner, Fireblocker, PU membrána. U všech membrán se projevil vliv praní poklesem relativní paropropustnosti. Hodnoty relativní paropropustnosti byly po praní vyrovnané. Nejvhodnějšího výparného odporu bylo dosaženo u membrány Flameliner, dále Fireblocker, nakonec PU membrány. Vlivem praní docházelo k slabému poklesu výparného odporu samostatných membrán. K poklesu docházelo z důvodu uzavírání pórů po pracích cyklech. Uzavírání pórů bylo zjištěno pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu AQUASEM. Z nich bylo viditelné, že s větším počtem pracích cyklů bylo uzavírání pórů téměř shodné, takže největší změnou prošla membrána při počátečních cyklech praní, pravděpodobně již při praní prvním.

U vrchového materiálu a podšívky bylo dosaženo velmi dobrých hodnot relativní paropropustnosti a výparného odporu. Praní mělo minimální vliv na tyto komfortní vlastnosti. Z těchto výsledků lze usuzovat vliv na komfortní vlastnosti celku vytvořeného z membrán, vrchového materiálu a podšívky. Zařazením vrchového materiálu a podšívky do celku nedojde ke zhoršení komfortních vlastností. Největší vliv má tedy membrána a její nosný materiál a interakce mezi jednotlivými vrstvami.

Z hlediska měření vrstev nejlepších výsledků výparného odporu a relativní paropropustnosti bylo dosaženo u soustavy obsahující membránu Fireblocker a Flameliner, nejhorší výsledek byl zjištěn u soustavy s PU membránou. Vlivem praní relativní paropropustnost jen mírně klesá u systému obsahující membránu Fireblocker, u zbývajících dvou slabě stoupá. U výparného odporu byl vliv praní prokázán mírným rostoucím trendem výparného odporu. Rozdíl byl u složených materiálů používajících různé druhy membrán. Při měření složeného materiálu byly hodnoty komfortních vlastností pro složené materiály obsahující různé membrány po praní vyrovnané. Důvodem toho bylo srovnatelné uzavírání pórů membrán po násobném praní.

Pro úplnost bylo provedeno měření samostatných membrán opačně orientovaných na senzor přístroje. V hodnocení relativní paropropustnosti a výparného odporu nejlepšího výsledku bylo dosaženo u membrány Flameliner, poté Fireblocker, nakonec PU membrána, ale hodnoty jsou pro relativní paropropustnost a výparného odporu až o polovinu horší. Bylo provedeno i srovnání ve vrstvách. Byla proměřena soustava s obrácenou membránou Fireblocker. Závislost relativní paropropustnosti a výparného odporu na pracích cyklech byla stejná. Trend byl stejný, ale hodnoty soustavy s obrácenou membránou byly nižší v případě relativní paropropustnosti oproti správně orientovanému vrstvení. Výparný odpor byl zjištěn u opačně orientované membrány vyšší. Tím byl potvrzen předpoklad, že správně položená membrána v systému je účinnější, funkce membrány je lepší, pokud je membrána co nejbližší k tělu.

Ve většině případů variační koeficient měřených hodnot nepřesáhl 5%, z toho lze považovat měření za spolehlivé a výsledky za vypovídající.

Za nepříjemnou vlastnost byla zjištěna tvorba žmolků u nosných netkaných textilií membrán Fireblocker a PU membrány po praní. Naproti tomu u nosné tkaniny s řídkou strukturou docházelo po praní k úbytku hmotnosti a tedy i objemu, takže vazné body řídnu, příze se mírně rozvolňuje a póry ve tkanině mohou ovlivnit konečné

vlastnosti s membránou. V pórech by v některých případech mohlo dojít k porušení membrány, především pokud by tkanina ztratila výraznou část svého objemu. Mezery mezi vaznými body plátnové vazby nosné textilie u membrány Flameliner po pracích cyklech byly zaplněny rozvolňujícími přísadami, ale bez kontaktu s membránou.

Na rastrovacím elektronovém mikroskopu AQUASEM byly pořízeny snímky membrán. Vliv praní se projevil částečným uzavíráním pórů v membránách a v důsledku toho i zhoršením komfortních vlastností. Nicméně i tak nebylo zamezeno přenosu vlhkosti membránou. Na uzavírání pórů mohou mít vliv i jiné vlivy při údržbě. Proto je nutné dbát na dodržování procesů údržby a stejně jako u ostatních funkčních oděvů nepoužívat aviváž. Při mírném ušpinění prád jen na doporučenou spodní hranici teploty prací lázně tedy 40°C a pokud to dovolují možnosti používat šetrný způsob sušení.

Oděvy z Nomexu jsou obecně dražší než oděvy z viskózy s nehořlavou nebo samozhášecí úpravou. Po osobním sdělení zástupců firem jsou uvedeny orientační ceny vlákna Nomex a upravené viskózy v tabulce 9.

Tab. 9 Orientační ceny vláken a úpravy [17, 18]

	Cena
Nomex	32Euro/kg
upravená viskóza	10Euro/kg
Permanentní nehořlavá úprava v praní	5Euro/metr
Permanentní nehořlavá úprava ve vodě	2,5Euro/metr
Dočasná nehořlavá úprava	1,5Euro/metr

V současné době na trhu 1kg Nomexu stojí cca 32Euro, kdežto 1kg upravené viskózy se pohybuje okolo 10Euro. Náklady na úpravu viskózy nehořlavou úpravou se však mohou vyšplhat na poměrně vysokou částku. Protože je vlákno Nomex trvale odolné proti teplu a ohni, v průběhu používání nedochází ke snížení této vlastnosti. Oděvy z Nomexu jsou 3~5x odolnější proti teplu a ohni než z upravené viskózy. Nadto v případě nehody snižují náklady na ošetření, vyplácení pojistného, rehabilitace. Z toho důvodu je jejich používání rentabilnější. Navíc upravená viskóza je těžší než Nomex,

protože obsahuje chemické látky zamezující/zpomalující hoření. Nevhodnou údržbou může dojít k snížení trvanlivosti zpomalovačů hoření. Následkem toho může být nositel ohrožen při výkonu práce.

Výhodou vlákna Nomex jsou nesporně jeho ověřené vlastnosti. Výhodou viskózy s nehořlavou úpravou je příznivější cena při dostačujících nehořlavých vlastnostech. Nomex je jistě vhodnější jako nosný materiál membrány pro hasičské zásahové oděvy při hašení ohně. Viskózový materiál je však možné použít v mírnějších podmínkách při krátkém zásahu nebo např. při vyprošťování z aut, zvlášť pokud bude použit jako nosný materiál membrány v kombinaci s vrchovým materiálem z Nomexu.

Závěr

Membrány se v oděvech používají jako vlhkostní bariéry. Mají za úkol nepropouštět vodu z vnějšího prostředí do vnitřního a zároveň musí odvádět vodní páry od pokožky do vnějšího prostředí. Tím přispívají ke komfortu nošení oděvů.

K dosažení nepromokavosti a propustnosti vodních par vede několik způsobů. Jsou to membrány, zátěry a tkaniny s hustou dostavou. Pracují na odlišném mechanismu propustnosti vodních par.

Provedená měření komfortních vlastností samostatných hydrofobních membrán i soustav obsahující tyto membrány ukázala vhodnost použití těchto membrán pro použití v hasičských zásahových oděvech.

Při měření samostatných membrán bylo dosaženo nejlepších výsledků u membrány Flameliner, poté u membrány Fireblocker, nejhorší hodnoty byly naměřeny u PU membrány. U vrchového materiálu i podšívky bylo dosaženo velmi dobrých hodnot výparného odporu a relativní paropropustnosti.

Při měření výparného odporu a relativní paropropustnosti vrstev bylo dosaženo nejlepších výsledků u membrán Fireblocker a Flameliner. Hodnocení soustav podle výparného odporu je v obou případech dobré. Výparný odpor dosáhl nejvýše 25,6 m²Pa/W. Z toho důvodu jsou vhodné na použití v hasičských zásahových oblecích. Jako nevýhoda se jevila tvorba žmolků nosné textilie u membrány Fireblocker po praní. Nosná textilie v podobě tkaniny v plátňové vazbě u membrány Flameliner po praní zase rozvolňuje, zaplňuje. Za nejméně vhodnou pro použití v zásahových oblecích byla shledána soustava s PU membránou. Její hodnoty výparného odporu (přes 30 m²Pa/W) byly shledány kritickými.

Z hlediska komfortních vlastností jsou obě membrány GORE-TEX vhodné pro použití v zásahových oblecích. Rozhodnutí je na zákazníkovi. Ale především z hlediska ochrany zdraví bude pro zásahové hasičské uniformy lepší GORE-TEX Fireblocker, protože obsahuje nehořlavé vlákno Nomex. Nehrozí tedy, že po praní nehořlavost klesne, jako u viskózy s nehořlavou viskózou. V rámci pracovních oděvů na pracoviště, kde se nepředpokládá každodenní výskyt požáru, je vhodné použití membrány Flameliner. Tomu odpovídají i ceny obleků. Cena obleku je také nižší.

Za nejméně vhodnou pro použití v zásahových oblecích byla zjištěna soustava s PU membránou.

Literatura

- [1] RŮŽIČKOVÁ, Dagmar. *Oděvní materiály*. Vyd.1. Liberec: TU Liberec, 2003. 221 s. ISBN 80-7083682-2.
- [2] HORROCKS, A. Richard; ANAND, Subhash. *Handbook of technical textiles*. Bolton, UK: CRC Press, Woodhead, 2000. 576 s. ISBN 1 85573 385 4.
- [3] MATTILA, H. R. *Intelligent textiles and clothing*. Vyd. 1. Bolton, UK: CRC Press, Woodhead, 2006. ISBN 13:978-1-84569-005-2.
- [4] BRZEZIŃSKI, Stefan, et al. Structure and properties of microporous polyurethane membranes designed for textil-polymeric composite systems. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2005, 13, s. 53-58.
- [5] HLOCH, S., et al. *Struktura, vlastnosti, diagnostika a technologie textilií*. Vyd. 1. Prešov: Vydavateľství Michala Vaška, 2006. ISBN 80-8073-668-5.
- [6] SEN, Ashish Kumar. *Coated textiles: Principles and applications*. Vyd. 2: Taylor & Francis, CRC Press, 2008. ISBN 978-1-4200-5346-6.
- [7] HU, Jinlian. *Fabric testing*. Vyd. 1. Cambridge, UK: Woodhead, CRC Press. ISBN 978-1-84569-297-1.
- [8] *Porellemembranes.com* [online]. [cit. 2010-06-15]. Porelle Microporous Membranes. Dostupné z WWW: <<http://www.porellemembranes.com>>.
- [9] *Products* [online]. [cit. 2010-06-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.torayentrant.com/index.html>>.
- [10] DRAŠAROVÁ, Jana. *Vysocefunkční textilie* [online]. [s.l.] : [s.n.], [cit. 2010-06-21]. Funkční textilie. Dostupné z WWW: <<https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2008-07-18/11-11-27.pdf>>.
- [11] DVOŘÁK, Otto; ŠTEFKOVÁ, Erika; KOTINSKÝ, Petr. *Ochranné oděvy pro hasiče: vlastnosti, zkoušení, praktické používání a certifikace*. Praha: MV-generální ředitelství HZS ČR jako přílohu časopisu 150-HOŘÍ, 5/2002. 15 s.
- [12] MILITKÝ, Jiří. *Přednášky: textilní vlákna; Speciální vlákna*. Vyd. 2. Liberec: TU v Liberci, 2007. 423 s. ISBN 978-80-7372-169-5.
- [13] ČSN EN ISO 6330 (80 0821): *Textilie - Postupy domácího praní a sušení pro zkoušení textilií*. Praha: Český normalizační institut, 2001. 20 s.
- [14] HES, Luboš; SLUKA, Petr. *Úvod od komfortu textilií*. Liberec: TU v Liberci, 2005. 109 s. ISBN 80-7083-926-0.

- [15] HES, Luboš. *Sensora* [online]. [cit. 2010-06-13]. Permetest. Dostupné z WWW: [<http://www.sensora.eu/permetest.html>](http://www.sensora.eu/permetest.html).
- [16] ČSN EN 31092: *Textilie – Zjišťování fyziologických vlastností – měření tepelné odolnosti a odolnosti vůči vodním parám za stálých podmínek (zkouška pocení vyhřívanou destičkou)*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 16 s.
- [17] Sintex, a.s. [online]. [cit. 2010-06-22]. Dostupné z WWW: <http://www.sintex.cz/>
- [18] Inotex [online]. [cit. 2010-06-22]. Dostupné z WWW: <http://www.inotex.cz/>